

## 明 細 書

## 固体レーザー励起モジュール及びレーザー発振器

## 技術分野

この発明は、レーザーレーダ用レーザー装置や加工用レーザー装置に好適な薄ディスク型の固体レーザー媒質を用いた固体レーザー励起モジュール及びレーザー発振器に関するものである。

## 背景技術

レーザー装置に用いられるレーザー媒質の形状は、ロッド型、スラブ型及び薄ディスク型に大別される。ロッド型レーザー媒質とは、断面が円形若しくは多角形のロッド形状にレーザー媒質を加工したものである。パワーを増幅すべきレーザー光は、ロッド型レーザー媒質の端面に垂直な光軸に沿って一方の端面から他方の端面に抜けるように通過させて増幅する。

この構成では、レーザー媒質中を伝搬するレーザー光の通過距離が長くなるため、大きな利得を得やすいという特徴がある。また、レーザー媒質が光軸に対して対称な形状を有するため、対称な強度分布を持つレーザー光を得やすいという利点もある。

ここで、励起されたロッド型レーザー媒質で発生する熱は、その外周面を排熱面として排熱される。このため、ロッド型レーザー媒質では、光軸方向に垂直な断面内に温度分布が発生する。これは、励起状態で変化する熱レンズ効果、波面収差や熱複屈折効果などの不具合を与える要因となる。

具体的に説明すると、熱レンズ効果は、レーザー媒質内の温度勾配によりレーザー共振器内でのレーザー光のビームサイズや拡がり角などのビーム

モードを変化させてしまう。また、波面収差は、レーザ光が共振器内を周回する際に損失が発生して発振効率を低下させると共に、レーザ光のビーム品質を低下させる。さらに、熱複屈折効果は、特に直線偏光のレーザ発振を得る場合に、レーザ光の偏光度を劣化させる。このため、共振器内の損失が増加して発振効率が低下すると共に、レーザ光のビーム品質が低下してしまう。

次に、スラブ型レーザ媒質は、台形状にレーザ媒質を加工したものである。励起されたスラブ型レーザ媒質で発生する熱は、スラブ型レーザ媒質の台形を構成する面のうち、平行な対向する面を排熱面として排熱が行われる。また、スラブ型レーザ媒質内に入射したレーザ光は、上記排熱面にて複数回反射して伝搬してゆき増幅される。

この構成では、レーザ媒質中を伝搬するレーザ光の通過距離が長いいため、大きな利得を得やすいという特徴がある。また、入射したレーザ光は、排熱面で複数回反射して出力される。このため、排熱方向に発生する熱レンズ効果が打ち消されて励起状態によるビームモードの変化が小さいという利点がある。

さらに、排熱方向が一方向であるため、理想的にはレーザ媒質内の温度分布が一方向に発生する。従って、当該レーザ媒質内での熱複屈折は、排熱方向とこれに垂直な方向とに軸を持つこととなる。これにより、レーザ媒質に対して熱複屈折の軸方向の直線偏光を伝搬させることで、熱複屈折による偏光状態の変化を小さくすることができるという利点がある。

しかしながら、スラブ型レーザ媒質では、上述したようにレーザ光を排熱面で複数回反射させるため、排熱面に対して高い精度の平面度が要求される。また、実際には、排熱面以外の側面からも熱が逃げるため、励起により発生した熱によるレーザ媒質内の温度分布は、一方向でなく

、熱レンズ効果が完全に打ち消される訳ではない。

従って、スラブ型レーザ媒質においても、依然として熱レンズ効果による励起状態の変化に起因したビームモードの変化が発生することとなる。さらに、レーザ媒質内で熱複屈折によりレーザ光の偏光度が劣化するために、その損失が増加してレーザ装置の発振効率が低下するという問題もある。

続いて、薄ディスク型レーザ媒質は、レーザ媒質を薄いディスク状に加工したものである。この薄ディスク型レーザ媒質では、上記ディスク形状を構成する面のうち、最も面積の大きい面の一方からレーザ光を入射し、この入射面に対向する面で反射させてディスクの厚さ方向に伝搬させながら増幅する。

励起された薄ディスク型レーザ媒質で発生した熱は、上記入射面に対向する面を排熱面として排熱する。この構成では、大きな排熱面が得られるため他の2つの形状に比べて排熱が容易である。また、排熱方向が光軸と平行になるため、熱レンズ効果や熱複屈折効果もほとんど発生しない。このように薄ディスク型レーザ媒質には、他の形状のレーザ媒質では得られない特有の利点がある。

一方、この形状のレーザ媒質の短所としては、レーザ光が通過するレーザ媒質内での距離がディスクの厚さ方向であるため、薄型であればあるほど利得が小さいという問題がある。また、薄ディスク型レーザ媒質において、同じ厚さ、同じ励起光パワーで大きな利得を得るためには、ディスク径を小さくして励起光を集光させ、励起光の密度を高くすることが要求される。

しかしながら、ディスク径を小さくすると排熱面も小さくなるので排熱の効率が悪くなる。従って、このようにディスク径の小さいレーザ媒質に励起光を集中させると、発熱の密度が大きくなる。

これにより、励起時にレーザ媒質の温度が過度に上昇すると、レーザ媒質自体が熱破壊してしまう可能性がある。さらに、一般に、レーザ媒質は温度が上昇すると発生する利得も小さくなるため、増幅の効率も低下するという問題があった。

また、薄ディスク型レーザ媒質では、レーザ光の伝搬方向である光軸に沿って励起光を入射する端面励起を採用すると、励起光の伝搬距離がディスクの厚さ方向で規定されてしまう。これにより、励起光の吸収効率を稼ぐことができず、レーザ装置の発振効率が低くなるという不具合が発生する。

上記端面励起を採用せずに、光軸に平行な側面から励起光を入射する側面励起によれば、励起光がディスクの径方向を伝搬することとなり、比較的長い吸収長が得られる。しかしながら、側面励起においても、下記のような不具合が発生する。

一般的に、薄ディスク型レーザ媒質を使用してレーザ共振器内で高いビーム品質を実現する場合、共振器の基本モードビーム径に合わせたディスク径にする必要がある。ここで、レーザ共振器で安定して高いビーム品質を実現するには、損失が発生しないよう基本モードのビーム径は小さいことが望ましい。

このため、薄ディスク型レーザ媒質のディスク径をなるべく小さくしなければならない。ディスク径を小さくすると、不可避免的に励起光の入射面が小さくなり、側面励起での励起光の入射は困難である。これにより、励起光の入射時における損失による影響の方が大きくなって、かえってレーザ装置の発振効率を低下させてしまう。

例えば、高出力なアレー状の半導体レーザ（LD）を用いた場合、LDの広い発光面から出力される励起光を薄くて小さな薄ディスク型レーザ媒質のディスク側面より励起光を入射することは非常に困難である。

このような薄ディスク型レーザ媒質における不具合を解決するものとして、例えば特開平 1 1 - 2 8 4 2 5 7 号公報（以下、特許文献 1 と称する）に開示されるテーパ状の導光板を用いた半導体レーザ励起固体レーザ装置がある。この装置は、特許文献 1 の図 1 に記載されるように、LD から出力された励起光を伝送するテーパ状の LD 光伝送板と厚みが LD 伝送板とほぼ同じで円形又は正多角形のディスク形状を有する固体レーザ媒質とを用いることを特徴としている。

アレー型の LD からの励起光は、LD 光伝送板における LD のアレー方向の幅に対応するテーパの広い側に入射端面より入射する。この励起光は、LD 光伝送板の厚み方向では全反射を繰り返し、水平方向にはテーパ状の側面で反射しながら固体レーザ媒質の  $TE M_{00}$  モード発振領域の幅に近い幅をもつ出射端面の幅まで収束するように伝搬する。LD 光伝送板の出射端面は、薄ディスク型レーザ媒質の側面に接しており、LD 光伝送板中を伝搬した励起光は、固体レーザ媒質を励起する。

このように構成することにより、LD から出射した励起光の垂直方向成分を全反射により固体レーザ媒質中に効率よく伝搬させることができる。また、上記構成では、水平方向にある程度  $TE M_{00}$  モード発振領域に近い幅まで均一に励起光が収束されるため、固体レーザ媒質を高い励起密度で均一に励起させることが可能である。

しかしながら、上記特許文献 1 による装置では、薄ディスク型レーザ媒質が有する上記不具合の全てを解決するものではない。

上記装置では、LD 光伝送板を用いて励起光を薄ディスク型の固体レーザ媒質に集束させている。この構成において、安定してレーザ共振させるためにディスク径を小さくした薄ディスク型レーザ媒質を用いると、上述したように励起光による発熱密度が大きくなることは避けられない。また、入射面が小さくなると排熱面も小さくなることから、励起時

におけるレーザ媒質温度の上昇を抑制することができない。このため、レーザ媒質が熱破壊する可能性があるという課題があった。

また、上述したようなレーザ媒質の温度上昇は、レーザ媒質自身の励起光吸収効率を低下させると共に、特に三準位レーザ媒質ではレーザ発振の下準位イオンの増加による利得の低下が発生するため、ひいてはレーザ装置全体の発振効率が低下してしまうという課題もある。

さらに、特許文献 1 では、薄ディスク型レーザ媒質の入射面に垂直にレーザ光を入射する。従って、レーザ光のレーザ媒質内の通過距離はディスクの厚さ方向で規定されることから、当該レーザ媒質において大きな利得を期待することはできない。

さらに、安定してレーザ共振させるためにディスク径を小さくした場合、側面励起によっても絶対的な励起光のレーザ媒質内の通過距離を稼ぐことができなくなる。従って、従来の薄ディスク型レーザ媒質では、励起光の吸収効率が低くなるため、レーザ装置の効率が低くなるという不具合があった。

この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、薄ディスク型レーザ媒質の励起時における温度上昇を抑制し、高い利得を得ることができる固体レーザ励起モジュール及びレーザ発振器を得ることを目的とする。

## 発明の開示

この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、励起光の吸収により発生した利得を与えてレーザ光を増幅する平板状の固体レーザ媒質と、固体レーザ媒質のレーザ光入射面に対向する面側に設けられ、上記入射面から入射して固体レーザ媒質内を伝搬したレーザ光を反射する反射面部と、反射面部を介して上記固体レーザ媒質から伝搬してくる熱を排熱す

る冷却部とを備え、固体レーザー媒質のレーザー光入射面が、レーザー光の光軸と固体レーザー媒質のレーザー光入射面上の法線とから定義される面に垂直な方向の大きさ  $a$  と、当該方向及び上記法線に垂直な長手方向の大きさ  $b$  とが、レーザー光の光軸と上記法線とがなす角であるレーザー光の入射角  $\theta$  に対して、 $b = a / \cos \theta$  の関係を有するものである。

この構成を有することで、固体レーザー媒質のレーザー光入射面に対して垂直にレーザー光を導入する場合と比較して媒質中のレーザー光通過距離を長くすることができ、レーザー光を効率よく増幅することができるという効果がある。

また、この発明に係る固体レーザー励起モジュールは、励起媒質部の固体レーザー媒質のレーザー光入射面は、レーザー光の光軸と固体レーザー媒質のレーザー光入射面上の法線とから定義される面に垂直な方向の大きさ  $a$  と、当該方向及び上記法線に垂直な長手方向の大きさ  $b$  とが、レーザー光の入射角  $\theta$  に対して、 $b = a / \cos \theta$  の関係を有する領域を、上記長手方向に沿って少なくとも  $m$  個（ $m$  は、正の整数）有し、反射面部で反射されたレーザー光を逐次反射して、入射角  $\theta$  で固体レーザー媒質に  $m$  回入射させる反射鏡部を備えるものである。

この構成を有することで、上記固体レーザー励起モジュールよりさらに高効率にレーザー光を増幅することができるという効果がある。

さらに、この発明に係る固体レーザー励起モジュールは、反射鏡部からのレーザー光が照射される領域ごとに固体レーザー媒質を配置し、励起光を各固体レーザー媒質に伝搬させるスラブ導波路部を介して固体レーザー媒質間を接合して励起媒質部を構成するものである。

このように構成することで、励起時における固体レーザー媒質の温度上昇を分散させることができ、過度の温度上昇による不具合の発生を抑制することができるという効果がある。

さらに、この発明に係る固体レーザー励起モジュールは、励起光の吸収により発生した利得を与えてレーザー光を増幅する平板状の固体レーザー媒質と、固体レーザー媒質のレーザー光入射面に対向する面側に設けられ、上記入射面から入射して固体レーザー媒質内を伝搬したレーザー光を反射する反射面部と、反射面部を介して固体レーザー媒質から伝搬してくる熱を排熱する冷却部とを有する励起媒質部を複数備え、各固体レーザー媒質のレーザー光入射面が、レーザー光の光軸と固体レーザー媒質のレーザー光入射面上の法線とから定義される面に垂直な方向の大きさ  $a$  と、当該方向及び上記法線に垂直な長手方向の大きさ  $b$  とが、レーザー光の入射角  $\theta$  に対して、 $b = a \cdot \cos \theta$  の関係をそれぞれ有し、各励起媒質部が、固体レーザー媒質により増幅されて反射面部で反射されたレーザー光を出力光とし、前段に配置された励起媒質部の出力光がその後段に配置された励起媒質部に入射するレーザー光となるように配置されて、レーザー光を逐次増幅するものである。

この構成を有することで、平板状の固体レーザー媒質の励起時における温度上昇が抑制されると共に、上記固体レーザー励起モジュールよりさらに高い利得を増幅すべきレーザー光に与えることができるという効果がある。

この発明に係るレーザー発振器は、励起光の吸収により発生した利得を与えてレーザー光を増幅する平板状の固体レーザー媒質と、固体レーザー媒質のレーザー光入射面に対向する面側に設けられ、上記入射面から入射して上記固体レーザー媒質内を伝搬したレーザー光を反射する反射面部と、反射面部を介して固体レーザー媒質から伝搬してくる熱を排熱する冷却部とを有し、レーザー光が照射される領域ごとに固体レーザー媒質を配置し、励起光を各固体レーザー媒質に伝搬させるスラブ導波路部を介して固体レーザー媒質間を接合してなる励起媒質部と、励起媒質部の固体レーザー媒質ごと



に上記レーザ光の入射及び反射面部からの反射光の再入射を繰り返してレーザ発振させる光学系部とを備えるものである。

この構成を有することで、平板状の固体レーザ媒質の励起時における温度上昇が抑制されると共に、増幅すべきレーザ光に高い利得を与えることができることから、高効率で高出力のレーザ装置を提供することができるという効果がある。

#### 図面の簡単な説明

第 1 図 A はこの発明の実施の形態 1 による固体レーザ励起モジュールの構成を示す図であり、第 1 図 B は第 1 図 A 中の固体レーザ励起モジュールを x 軸方向から見た図である。

第 2 図 A は励起用 LD が固体レーザ媒質に励起光を直接入射する構成を示す x y 平面図、第 2 図 B は側面をテーパ状に加工したスラブ導波路を介して励起光を固体レーザ媒質に入射する構成を示す x y 平面図である。

第 3 図 A は第 1 図に示した固体レーザ励起モジュールについての x z 平面での断面を示す図、第 3 図 B は第 1 図に示した固体レーザ励起モジュールについての y z 平面での断面を示す図である。

第 4 図はこの発明の実施の形態 2 による固体レーザ励起モジュールの構成を示す図である。

第 5 図 A はこの発明の実施の形態 3 による固体レーザ励起モジュールの構成を示す図であり、第 5 図 B は第 5 図 A 中の固体レーザ励起モジュールを x 軸方向から見た図である。

第 6 図はこの発明の実施の形態 4 による固体レーザ励起モジュールの構成を示す図である。

第 7 図 A はこの発明の実施の形態 5 による薄ディスク型の固体レーザ

媒質の構成を示す図であり、第 7 図 B はこの発明の実施の形態 5 による固体レーザ励起モジュールの構成を示す x z 面での断面図である。

第 8 図 A から第 8 図 H までは励起媒質部の構成を示す平面図である。

第 9 図はこの発明の実施の形態 6 による固体レーザ励起モジュールを用いたレーザ装置の構成を示す図である。

### 発明を実施するための最良の形態

以下、この発明をより詳細に説明するために、この発明を実施するための最良の形態について、添付の図面に従ってこれを説明する。

#### 実施の形態 1 .

第 1 図 A はこの発明の実施の形態 1 による固体レーザ励起モジュールの構成を示す図であり、第 1 図 B は第 1 図 A 中の固体レーザ励起モジュールを x 軸方向から見た図である。第 1 図に示す固体レーザ励起モジュールは、ヒートシンク 5 上に全反射膜 3 を接合剤 4 を介して接合し、全反射膜 3 上に薄ディスク形状の固体レーザ媒質 2 を設け、その上に反射防止膜 1 を配置して構成される。

反射防止膜 1 は、固体レーザ媒質 2 に対して入射角  $\theta$  で入射するレーザ光 6 のほぼ全てを透過する。反射防止膜 1 としては、例えば誘電体薄膜を積層して構成する。固体レーザ媒質 2 としては、一般的な固体レーザ媒質を使用することができる。

例えば、Nd : YAG、Nd : YLF、Nd : YVO<sub>4</sub>、Nd : Glass、Yb : YAG、Yb : YLF、Er : Glass、Er : YAG、Tm : YAG、Tm : YLF、Ho : YAG、Ho : YLF、Tm、Ho : YAG、Tm、Ho : YLF、Ti : Sapphire、Cr : LiSAF などを用いる。

また、第 1 図 A では、レーザ光 6 の光軸と固体レーザ媒質 2 の入射面

の法線 7 とを含む面に垂直な方向に x 軸、法線 7 方向に z 軸、x z 平面の法線方向に y 軸をとる直交座標系を考えている。この直交座標系の定義は、以降の図面においても同様である。

ここで、レーザ光 6 が入射する固体レーザ媒質 2 の上記入射面は、x 軸方向に a、y 軸方向に b の大きさを持つ矩形で表されており、これらは下記式 (1) の関係を有するものとする。

$$b = a / \cos \theta \quad \cdots (1)$$

つまり、レーザ光 6 は、そのビーム断面積（光軸に垂直な断面の面積）より固体レーザ媒質 2 の入射面上の照射面積が大きくなるような入射角  $\theta$  で入射される。

このようにすることで、レーザ光 6 を固体レーザ媒質 2 の入射面に対して垂直に入射する場合と比較して媒質 2 内での通過距離を長くすることができ、増幅の効率を向上させることができる。

第 1 図 B に示すように、全反射膜 3 は、固体レーザ媒質 2 に入射角  $\theta$  で入射し、その内部での屈折により入射角  $\theta_a$  となって入射してきたレーザ光 6 のほぼ全てを反射する。また、全反射膜 3 は、誘電体薄膜を積層する、若しくは、金属膜の蒸着等を用いることで作成することができる。接合剤 4 は、金属半田や接着剤により実現可能である。

なお、レーザ光 6 が全反射膜 3 に入射する入射角度  $\theta_a$  は、固体レーザ媒質 2 の屈折の影響によって下記式で表される。

$$\theta_a = \sin^{-1} (n_0 \cdot \sin \theta / n) \quad \cdots (2)$$

ここで、n は固体レーザ媒質 2 の屈折率、 $n_0$  は固体レーザ媒質 2 に入射する前にレーザ光 6 が伝搬した媒質の屈折率である。

次に動作について説明する。

固体レーザ媒質 2 の側面より入射された励起光 8 は、固体レーザ媒質 2 の内部で反射しながら伝搬する。これにより、励起光 8 は、固体レー

ザ媒質 2 に吸収されて利得を発生させる。

パワーを増幅すべき対象であるレーザ光 6 は、固体レーザ媒質 2 に対して入射角  $\theta$  で入射し反射防止膜 1 を透過して全反射膜 3 に到達するまで固体レーザ媒質 2 により増幅される。全反射膜 3 に到達するまで固体レーザ媒質 2 により増幅されたレーザ光 6 は、全反射膜 3 で反射して、再度固体レーザ媒質 2 中を通過する際に増幅される。このあと、当該レーザ光 6 は、反射防止膜 1 を透過して外部に出力する。

また、固体レーザ媒質 2 の励起時に発生した熱は、全反射膜 3 から接合剤 4 を伝導してヒートシンク 5 へ排熱される。ヒートシンク 5 では、例えば冷却水や空冷ファンなどで冷却することにより、固体レーザ媒質 2 の温度が上昇することを抑制する。

ここで、固体レーザ媒質 2 は、第 1 図 B に示すように  $-z$  方向に排熱されるので、 $z$  軸方向と  $xy$  平面内でレーザ光 6 の光軸に垂直な方向を複屈折軸とする熱複屈折が発生する。この熱複屈折は、入射角  $\theta$  で入射するレーザ光 6 に対して、光軸と  $z$  軸を含む面内で上記光軸に垂直な方向と、 $xy$  平面内の上記光軸に垂直な方向を軸とする複屈折効果を与える。

複屈折効果は、上記 2 つの軸方向の電界成分に対して異なる屈折率を発生させて異なる位相変化を与える。このため、上記 2 つの軸方向に電界成分を有するレーザ光 6 が入射すると、固体レーザ媒質 2 を通過して増幅されて出射したレーザ光 6 の偏光状態は、上記複屈折効果により変化してしまう。

また、上述したような複屈折効果が生じる固体レーザ励起モジュールをレーザ発振器として用いた場合、パワーの増幅対象であるレーザ光 6 についてその偏光方向を複屈折軸と無関係に設定すると、上記 2 つの軸方向で異なった共振モードで発振してしまう。このため、レーザ光 6 に

ついて高いビーム品質を得ることが困難となってしまう。

そこで、本発明では、上記複屈折効果によりレーザー光 6 の偏光状態を変化させないため、レーザー光 6 として複屈折軸方向の偏光を有した直線偏光、即ちレーザー光 6 の光軸と法線 7 とを含む面に垂直な方向（ $x$  軸方向）の直線偏光（S 偏光）、又は、レーザー光 6 の光軸と法線 7 とを含む面内にあり光軸に垂直な方向の直線偏光（P 偏光）を入射する。

第 1 図では、レーザー光 6 の偏光方向として S 偏光である場合を示している。なお、第 1 図 B 中のレーザー光 6 の光軸上に記載した黒丸記号は、レーザー光 6 の偏光方向を示すものであり、紙面に垂直方向、即ち S 偏光を示している。

このように、本発明による薄ディスク型のレーザー媒質 2 を用いた固体レーザー励起モジュールでは、増幅後のレーザー光 6 について複屈折効果による偏光状態の変化が発生することがなく、レーザー発振器として支障なく使用することができる。

また、図示は省略したが、レーザー光 6 を反射させる全反射鏡と、レーザー光 6 の一部を反射し一部を透過させる部分反射鏡を用意し、固体レーザー媒質 2 側に入射する前のレーザー光 6 の光軸上に全反射鏡又は部分反射鏡を配置し、固体レーザー媒質 2 を通過して本発明の固体レーザー励起モジュールから出力されたレーザー光 6 の光軸上に部分反射鏡又は全反射鏡を設置する。

このようにすることで、レーザー光 6 が上記全反射鏡、本発明の固体レーザー励起モジュール及び上記部分反射鏡からなる経路でレーザー発振するレーザー共振器を構成することができる。これにより、上記部分反射鏡から外部へ上記レーザー共振器にて増幅されたレーザー光 6 を出力するレーザー装置として使用することが可能である。

このとき、反射防止膜 1 又は全反射膜 3 について S 偏光と P 偏光に対

して異なる特性を与えることにより、上記レーザ共振器内で発生するレーザ光 6 の偏光方向を S 偏光又は P 偏光のいずれかのみに制限することができる。従って、上記レーザ共振器へ入射させるレーザ光 6 の偏光方向を予め規定しておかずとも、直線偏光のレーザ光 6 を出力光として得ることができる。

また、上記レーザ共振器内に、偏光子などのレーザ光 6 の偏光方向を複屈折軸に一致する方向に制限する光学部品を配置すれば、反射防止膜 1 や全反射膜 3 の特性を上述のように規定せずとも、直線偏光のレーザ光 6 を出力光として得ることが可能である。

次に、第 1 図に示した固体レーザ励起モジュールの固体レーザ媒質 2 に対して励起光 8 を入射する方法の一例について第 2 図 A, B を用いて説明する。なお、これらの図では、固体レーザ媒質 2 と他の構成との関係がわかるよう、反射防止膜 1 についての記載を省略している。

第 2 図 A は、励起用 LD 9 が固体レーザ媒質 2 に励起光 8 を直接入射する構成を示す x y 平面図である。この構成は、固体レーザ媒質 2 における励起光 8 の入射面の幅が、励起用 LD 9 の y 軸方向の幅と同じか、若干大きい場合に有効である。ここで、励起用 LD 9 は、発光部 10 から第 1 図で示した励起光 8 を出力する。

発光部 10 は、x 軸方向の幅が数  $\mu\text{m}$ 、y 軸方向の長さが数 mm の大きさを有している。固体レーザ媒質 2 における励起光 8 の入射面の幅が、発光部 10 の y 軸方向の長さに比べて同じか、大きい場合、第 2 図 A に示すように、励起用 LD 9 を固体レーザ媒質 2 に近づけて配置する。これにより、励起用 LD 9 からのほぼ全ての励起光 8 を固体レーザ媒質 2 に入射することができる。

また、第 2 図 B は、側面をテーパ状に加工したスラブ導波路 11 を介して励起光 8 を固体レーザ媒質 2 に入射する構成を示す x y 平面図であ

る。この第2図Bに示す構成では、固体レーザー媒質2における励起光8入射面の幅が、発光部10のy軸方向の長さに比べて小さい場合に有効である。

スラブ導波路11は、固体レーザー媒質2とほぼ同じ厚さであり、励起用LD9からの励起光8をy軸方向について集光しながら固体レーザー媒質2に入射させる。

つまり、テーパ形状に加工されたスラブ導波路11では、励起用LD9からの励起光8の入射端面から固体レーザー媒質2へ励起光8を出射する端面に至るまでの断面積（上記入射端面に平行な断面の面積）が徐々に小さくなるため、励起光8が集束しながら固体レーザー媒質2に入射することとなる。

これにより、励起光8を固体レーザー媒質2に入射させる際、高い入射効率を実現するものである。

ここで、固体レーザー媒質2とスラブ導波路11は、オプティカルコンタクトなどにより光学的に接合される。オプティカルコンタクトとは、固体レーザー媒質2とスラブ導波路11の接合面を高精度に研磨してから接合するものである。

この他、オプティカルコンタクトしたものに圧力をかけながら加熱して接合強度を強めた拡散接合により光学的に接合する方法もある。また、固体レーザー媒質2及びスラブ導波路11の結晶をそれぞれ粉状に加工し、焼結により固めるセラミックを用いた一体構造等により形成してもよい。

次に、光軸に垂直な断面形状を円形（直径c）と仮定したレーザー光6が、固体レーザー媒質2に入射角 $\theta$ で入射した場合における固体レーザー媒質2とレーザー光6との大きさの関係について、第3図A，Bを用いて説明する。なお、これらの図では、固体レーザー媒質2とレーザー光6との関

係がわかるよう、反射防止膜 1 やその他の構成についての記載を省略している。

第 3 図 A は、第 1 図に示した固体レーザー励起モジュールについての  $xz$  平面での断面を示す図である。第 3 図 B は、第 1 図に示した固体レーザー励起モジュールについての  $yz$  平面での断面を示す図である。第 3 図 A, B に示すように、光軸に垂直な断面形状が直径  $c$  の円形であるレーザー光 6 は、固体レーザー媒質 2 の表面において  $x$  軸方向に短径  $c$ 、 $y$  軸方向に長径  $c / \cos \theta$  を有する楕円形状で入射する。

固体レーザー媒質 2 に蓄えられたパワーを効率よく取り出すには、レーザー光 6 のビーム径と固体レーザー媒質 2 の大きさとの比が一定であることが望ましい。ここで、レーザー光 6 の直径  $c$  と固体レーザー媒質 2 の  $x$  軸方向の大きさ  $a$  との比を  $a / c = r$  とすると、固体レーザー媒質 2 の表面でのレーザー光 6 と固体レーザー媒質 2 との大きさの関係は、 $x$  軸方向の比が  $a / c = r$  となり、 $y$  軸方向の比が  $(a / \cos \theta) / (c / \cos \theta) = a / c = r$  となる。

従って、上記式 (1) を満たすように固体レーザー媒質 2 を構成すれば、 $x$  軸方向及び  $y$  軸方向に同じ比率を保つことが可能であり、固体レーザー媒質 2 に蓄えられたパワーを効率よく取り出すことが可能である。

また、 $a$  の大きさの開口により回折限界の  $TE_{m0}$  光を選択的に増幅するためには、 $a / c$  が  $1 \sim 1.7$  となるように  $a$  を設定すればよいことが知られており、高次のモードを含むマルチモードのレーザー光 6 を増幅するためには、 $a / c$  が約 1 であることが望ましい。

薄ディスク型レーザー媒質では、単位面積あたりに蓄えることが可能なパワー、即ち単位面積あたりの励起光入射パワーが、固体レーザー媒質の温度上昇による熱破壊限界に制限される。従って、大きな出力を得るためには、固体レーザー媒質 2 の面積を大きくする必要がある。



しかしながら、レーザ共振器内のレーザ光 6 のビーム径は、レーザ共振器の安定条件で与えられる。特に、回折限界のビーム品質を実現しようとした場合、ビーム径を大きくすると、長い共振器長が要求される。このため、レーザ共振器が大型化すると共に、不安定になりやすい。

そこで、本発明では、レーザ光 6 のビーム径を一定に保ちながら、入射角度  $\theta$  を大きくすることにより、固体レーザ媒質 2 の面積を増加させ、固体レーザ媒質 2 全体に蓄積されるパワーを増加させることが可能である。これにより、高出力な回折限界のビーム品質を実現した安定したレーザ共振器を構成することができる。

固体レーザ媒質 2 において、単位面積あたりの励起光入射パワーを一定とすると、蓄積パワーは、 $1 / \cos \theta$  に比例し、例えば入射角  $\theta$  が  $45^\circ$  で約 1.4 倍、 $\theta$  が  $60^\circ$  で約 2 倍、 $\theta = 75^\circ$  で約 3.8 倍のパワーを蓄積することが可能となる。入射角  $\theta$  が  $0^\circ$  近辺の場合、蓄積パワー増加の効果は小さく、入射角は  $45^\circ$  以上が望ましい。

また、固体レーザ媒質 2 によってレーザ光 6 に与えられる利得は、レーザ光 6 が固体レーザ媒質 2 内を通過する長さに比例する。しかしながら、薄ディスク型の固体レーザ媒質では、厚さが薄いために十分な利得を得ることが困難であった。

これに対して、本発明では、入射角度  $\theta$  を大きくすることにより、レーザ光 6 が固体レーザ媒質 2 内を通過する長さを長くすることができ、レーザ光 6 に与える利得を大きくすることができる。

例えば、固体レーザ媒質 2 のホスト材料として YLF ( $\text{LiYF}_4$ 、屈折率 1.45) を用いた場合、レーザ光 6 がレーザ媒質 2 内を通過する長さは、 $1 / \cos \theta_a$  に比例し、入射角  $\theta$  が  $0^\circ$  の時に比べて入射角  $\theta$  が  $45^\circ$  で約 1.15 倍、 $\theta$  が  $60^\circ$  で約 1.25 倍、 $\theta = 75^\circ$  で約 1.34 倍となる。この効果は、ホスト材料の屈折率が小さいほど

大きくなる。

また、入射角  $\theta$  を固体レーザー媒質 2 についてのブリュースター角度 ( $\theta = \tan^{-1}(n/n_0)$ ) とし、レーザー光 6 をその光軸と法線 7 を含む面内での直線偏光 (P 偏光) とすれば、固体レーザー媒質 2 表面でレーザー光 6 の反射が発生しない。従って、反射防止膜 1 を省略することができる。これにより、固体レーザー媒質 2 に入射する際の反射防止膜 1 の損失を抑制することができる。また、反射防止膜 1 が不要になるので廉価にレーザー装置を構成することもできる。

全反射膜 3 として誘電体多層膜を用いた場合、レーザー光 6 の偏光をその光軸と法線 7 を含む面に垂直な直線偏光 (S 偏光) とすれば、P 偏光の場合に比べて全反射膜 3 の膜厚を薄くすることができる。全反射膜 3 の熱抵抗は、その厚さにほぼ比例するので、上述のように構成すれば、全反射膜 3 の熱抵抗を小さくすることができ、固体レーザー媒質 2 の温度上昇を抑制することもできる。

固体レーザー媒質では、一般的に温度が高くなるほど効率が低下する。そこで、本発明では、固体レーザー媒質 2 全体の蓄積パワーを一定とした場合、入射角  $\theta$  を大きくして固体レーザー媒質 2 の面積を大きくする。

これにより、固体レーザー媒質 2 の単位面積あたりの発熱量が減少するため、その温度上昇が抑制されて高効率なレーザー装置を得ることが可能となる。

接着剤、特に有機系の接着剤は、一般的に最大使用温度が低く、発熱密度が大きくなる高出力の固体レーザー媒質 2 の固定に用いることが困難であった。

本発明では、入射角  $\theta$  を大きくして固体レーザー媒質 2 の面積を大きくし、単位面積あたりの発熱量を減少させることができる。

また、上述したような有機系の接着剤には、接合すべき部材の接合面

に存在する微小な凹凸を被覆して接着することができるものがある。

このような接着剤を接合剤 4 として用いることで、ヒートシンク 5 の表面精度が悪い場合であっても、ヒートシンク 5 に対して反射防止膜 1、固体レーザ媒質 2 及び全反射膜 3 までの構成を固定することが容易になる。

また、固体レーザ媒質 2 に比べて柔らかい、即ち軟性を有する接着剤を接合剤 4 として使用することで、固体レーザ媒質 2 への応力を緩和する緩衝材としての効果も期待することができる。

この他、接合剤 4 として金属半田や熱伝導性の接着剤を用いると、接合剤 4 が励起光 8 を吸収してしまう。このため、接合剤 4 にレーザ光 6 や励起光 8 が漏れると、接合剤 4 の温度上昇やこれに伴う接合強度の低下が発生したり、接合剤 4 からの脱ガスによる光学部品の汚れや損傷などを引き起こす可能性があるという問題があった。

従って、接合剤 4 として金属半田や熱伝導性の接着剤を用いる場合、レーザ光 6 及び励起光 8 を同時に全反射するような全反射膜 3 が要求される。通常、励起光源としては、高出力の半導体レーザ (LD) が用いられる。

この半導体レーザ (LD) から出力される励起光は、一般的に拡がり角が大きく、様々な角度で全反射膜 3 に入射する。このため、高い反射率を実現するには、不可避免的に膜構成が複雑になると共に、その厚さを厚くしなければならない。ここで、全反射膜 3 の熱抵抗は、その厚さにほぼ比例するので、厚さが厚くなった場合、レーザ媒質 2 の温度が上昇してしまう。

そこで、本発明では、接合剤 4 として金属半田や熱伝導性の接着剤を用いることなく、励起光 8 が固体レーザ媒質 2 内で全反射条件を満たす屈折率を有し、且つ励起光 8 の吸収が少ない光学接着剤を用いるように

してもよい。

固体レーザー媒質 2 のホスト材料として YAG ( $Y_3Al_5O_{12}$ 、屈折率 1.82) を用い、屈折率 1.6 の光学接着剤を接合剤 4 として用いれば、固体レーザー媒質 2 の外部で全角  $120^\circ$  まで拡がった励起光 8 を全反射により閉じこめることが可能である。

この場合、固体レーザー媒質 2 内部の全反射により励起光 8 が閉じこめられるので、励起光 8 の損失が少なく、効率の高い励起モジュールを実現可能である。

また、接合剤 4 として金属半田や熱伝導性の接着剤を用いる場合のように、励起光 8 が金属半田や熱伝導性の接着剤などに吸収されることがなく、全反射膜 3 に励起光 8 を全反射する機能が要求されない。このため、膜設計が容易になり、薄い膜厚を実現することができる。

光学接着剤は、熱伝導性接着剤に比べて熱抵抗が大きい。一方、光学接着剤には、熱伝導接着剤で熱抵抗を小さくするためのフィラー（金属の小さな繊維）などが入っていない。

このため、光学接着剤を接合剤 4 として用いることで、接合剤 4 の層厚を薄くすることができ、この接合剤 4 と全反射膜 3 とを合わせた熱抵抗を小さくすることが可能である。

また、第 1 図 A に示すように、本実施の形態では、励起光 8 を固体レーザー媒質 2 の  $xy$  面に平行な側面から入射する。このように構成することで、励起光 8 の吸収長を  $x$  軸方向の大きさ  $a$ 、固体レーザー媒質 2 の全蓄積パワーを  $y$  軸方向の大きさ  $b$  でそれぞれ調整することができる。

これにより、固体レーザー媒質 2 について、その励起光 8 の吸収量と必要な蓄積パワーを独立して設計することが可能である。また、固体レーザー媒質 2 のディスクを構成する面のうち幅の広い面を使用するため、励起光 8 の入射が容易である。

また、第 1 図では、固体レーザー媒質 2 の  $x-y$  面に平行な側面から励起光 8 を入射する例を示したが、 $x-z$  面に平行な面から励起光 8 を入射するようにしてもよい。この場合、固体レーザー媒質 2 の  $y$  軸方向に長い吸収長が得られるので、吸収が小さなレーザー媒質材料を用いても高い吸収効率が得られる。

固体レーザー媒質 2 は、その  $x$  軸方向についてのレーザー光入射面の大きさとレーザー光 6 のレーザー光入射面上での照射領域の大きさとの比を一定にした状態で励起光 8 の吸収長を変えることができるので、吸収量とレーザー光 6 のビーム径を独立して設計することが可能である。

なお、上記実施の形態 1 では、固体レーザー媒質 2 を上記式 (1) を満たす大きさとする例を示したが、 $b > a$  であれば、ほぼ同様の効果が得られることは明かである。

特に、入射するレーザー光 6 の断面形状が円形でなく、楕円形や長方形である場合、固体レーザー媒質 2 の表面におけるレーザー光 6 の照射領域の大きさと固体レーザー媒質 2 のレーザー光入射面の大きさとの比を、 $x$  軸方向及び  $y$  軸方向に同じ値を持つように設定すれば、固体レーザー媒質 2 に蓄えられたパワーを効率よく取り出すことが可能である。

また、第 1 図において、固体レーザー媒質 2 の表面形状は、 $x$  軸方向に  $a$ 、 $y$  軸方向に  $b$  の大きさを持つ長方形である場合を示したが、本発明ではこれに限定されるものではない。例えば、固体レーザー媒質 2 として  $x$  軸方向に短径  $a$  及び  $y$  軸方向に長径  $b$  の大きさを持つ楕円形としてもよい。

このように構成すれば、固体レーザー媒質 2 の表面におけるレーザー光 6 の照射領域の大きさと固体レーザー媒質の大きさとの比は、 $x$  軸方向及び  $y$  軸方向だけでなく、 $x-y$  面内のあらゆる方向について同じ値を保つことができる。

これにより、レーザ光 6 の照射領域の大きさと固体レーザ媒質の大きさがほぼ等しくなり、固体レーザ媒質 2 に蓄えられたパワーを、さらに効率よく取り出すことが可能である。

## 実施の形態 2 .

上記実施の形態 1 における第 1 図に示した励起モジュールでは、固体レーザ媒質 2 で発生する熱複屈折のため、入射させるレーザ光 6 の偏光方向を S 偏光又は P 偏光のいずれかに制限する必要があった。この実施の形態 2 では、上記制限を解消する構成を提供する。

第 4 図は、この発明の実施の形態 2 による固体レーザ励起モジュールの構成を示す図である。固体レーザ励起モジュール 1 2 a , 1 2 b は、ヒートシンク 5 a , 5 b 上に全反射膜 3 a , 3 b を接合剤 4 a , 4 b を介して接合し、全反射膜 3 a , 3 b 上に薄ディスク形状の固体レーザ媒質 2 a , 2 b を設け、その上に反射防止膜 1 a , 1 b を配置して構成される。

反射防止膜 1 a、固体レーザ媒質 2 a、全反射膜 3 a、接合剤 4 a 及びヒートシンク 5 a の機能は、第 1 図に示した反射防止膜 1、固体レーザ媒質 2、全反射膜 3、接合剤 4 及びヒートシンク 5 とそれぞれ同一である。偏光回転素子 1 3 は、レーザ光 6 の偏光を  $90^\circ$  回転させるものであり、旋光子や  $1/2$  波長板などが用いられる。

次に動作について説明する。

第 1 の固体レーザ励起モジュール 1 2 a に入射角  $\theta$  で入射したレーザ光 6 は、反射防止膜 1 a、固体レーザ媒質 2 a 及び全反射膜 3 a に至る経路で増幅され、全反射膜 3 a で反射したあと、固体レーザ媒質 2 a 及び反射防止膜 1 a に至る経路にて再び増幅されて外部に出射される。

第 1 の固体レーザ励起モジュール 1 2 a から出射されたレーザ光 6 は

、偏光回転素子 13 にて偏光が  $90^\circ$  回転されたあと、第 2 の固体レーザー励起モジュール 12b に入射する。

偏光回転素子 13 を介して第 2 の固体レーザー励起モジュール 12b に入射したレーザー光 6 は、反射防止膜 1b、固体レーザー媒質 2b 及び全反射膜 3b に至る経路で増幅され、全反射膜 3b で反射したあと、固体レーザー媒質 2b 及び反射防止膜 1b に至る経路にて再び増幅されて外部に出射される。

ここで、第 1 の固体レーザー励起モジュール 12a に入射したレーザー光 6 の S 偏光成分は、偏光回転素子 13 により偏光が  $90^\circ$  回転されたあと、第 2 の固体レーザー励起モジュール 12b に P 偏光として入射する。一方、第 1 の固体レーザー励起モジュール 12a に入射したレーザー光 6 の P 偏光成分は、偏光回転素子 13 により偏光が  $90^\circ$  回転されたあと、第 2 の固体レーザー励起モジュール 12b に S 偏光として入射する。

このように、上記構成では、熱複屈折の上記 2 つの軸方向の偏光成分に与える位相差が補償されるので、入射したレーザー光 6 の偏光状態が保持されて出力されることとなる。

つまり、第 4 図に示す固体レーザー励起モジュールでは、任意の偏光状態のレーザー光 6 を、偏光状態を変えずに増幅することができるので、直線偏光でない任意の偏光状態のレーザー光 6 を増幅するレーザー増幅器を構成することができる。

また、図示は省略したが、レーザー光 6 を反射させる全反射鏡と、レーザー光 6 の一部を反射し一部を透過させる部分反射鏡を用意し、第 1 の固体レーザー励起モジュール 12a に入射する前のレーザー光 6 の光軸上に全反射鏡又は部分反射鏡を配置し、第 1 の固体レーザー励起モジュール 12b から出力されたレーザー光 6 の光軸上に部分反射鏡又は全反射鏡を設置する。

このようにすることで、レーザ光 6 が上記全反射鏡、第 1 の固体レーザ励起モジュール 1 2 a, 1 2 b 及び上記部分反射鏡からなる経路でレーザ発振するレーザ共振器を構成することができる。

これにより、部分反射鏡から外部へ上記レーザ共振器にて増幅されたレーザ光 6 を出力するレーザ装置として使用することが可能である。このとき、熱複屈折により発生する上記 2 つの軸方向で発生する位相差が補償されるので、任意の偏光状態で高いビーム品質のレーザ出力を得ることができる。

なお、第 4 図では、2 個の固体レーザ励起モジュール 1 2 a, 1 2 b と偏光回転素子 1 3 を組み合わせて位相変化を補償する構成例を示したが、2 個の固体レーザ励起モジュールと偏光回転素子を一組とし、これらを複数個組み合わせてレーザ増幅器又はレーザ発振器を構成してもよい。このように構成すれば、さらに、高出力、高利得なレーザ増幅器又はレーザ発振器を構成することができる。

また、偏光回転素子 1 3 として旋光子や 1 / 2 波長板などの透過型光学素子を用いる例を示したが、これに限られるものではない。例えば、プリズムの反射による偏光回転の効果や空間的に像を 90° 回転させるプリズムなどを、第 1 の固体レーザ励起モジュール 1 2 a に入射したレーザ光 6 の偏光が、第 2 の固体レーザ励起モジュール 1 2 b に対して直交するように配置しても同様の効果が得られることは明らかである。

さらに、偏光回転素子 1 3 を使用せず、第 1 の固体レーザ励起モジュール 1 2 a に入射角  $\theta$  で入射したレーザ光 6 の偏光が、第 2 の固体レーザ励起モジュール 1 2 b に入射角  $\theta$  で入射したレーザ光 6 の偏光に対して直交するように配置してもよい。

つまり、第 1 の固体レーザ励起モジュール 1 2 a に対して第 2 の固体レーザ励起モジュール 1 2 b を配置するにあたり、レーザ光 6 の光軸と



第 1 の固体レーザー励起モジュール 1 2 a の入射面の法線 7 を含む面に垂直な方向が、レーザー光 6 の光軸と第 2 の固体レーザー励起モジュール 1 2 b の入射面の法線 7 を含む面内に含まれるようにする。

具体的には、第 1 の固体レーザー励起モジュール 1 2 a と第 2 の固体レーザー励起モジュール 1 2 b との長手方向が垂直になるように配置する。そして、これらモジュール 1 2 a, 1 2 b 間のレーザー光 6 の伝搬経路に反射鏡などの光学系を配置して、第 1 の固体レーザー励起モジュール 1 2 a に入射角  $\theta$  で入射したレーザー光 6 の偏光に対して、第 2 の固体レーザー励起モジュール 1 2 b に入射角  $\theta$  で入射するレーザー光 6 の偏光が直交するように偏光方向を調節する。

このように構成すると、第 1 の固体レーザー励起モジュール 1 2 a に S 偏光として入射したレーザー光が、第 2 の固体レーザー励起モジュール 1 2 b では P 偏光となり、第 1 の固体レーザー励起モジュール 1 2 a に P 偏光として入射したレーザー光が、第 2 の固体レーザー励起モジュール 1 2 b では S 偏光となり、偏光回転素子 1 3 を用いた場合と同様の効果が得られる。

### 実施の形態 3 .

上記実施の形態 1 における第 1 図に示した固体レーザー励起モジュールでは、入射角  $\theta$  を大きくするほど、蓄積パワーを大きく又は発熱密度を低減することが可能である。また、入射角  $\theta$  を大きくするに伴ってレーザー媒質 2 内を通過する長さを長くすることができる。

しかしながら、入射角として最大である  $\theta = 90^\circ$  とした場合でも、レーザー媒質 2 内を通過する長さの増加量は、入射角  $\theta$  が  $0^\circ$  の場合と比較して固体レーザー媒質 2 の屈折率 1.45 の時で 1.38 倍、屈折率 1.82 の時で 1.20 倍程度である。

従って、上記励起モジュールでは、蓄積パワー増加の効果に比べて利得増加の効果が小さい。さらに、入射角 $\theta$ を大きくすると、反射防止膜 1 の入射角に対する許容度が小さくなる。

本実施の形態 3 は、上述したような内容を改善する構成を提供するものである。

第 5 図 A は、この発明の実施の形態 3 による固体レーザ励起モジュールの構成を示す図であり、第 5 図 B は、第 5 図 A 中の固体レーザ励起モジュールを x 軸方向から見た図である。全反射鏡 14 は、固体レーザ媒質 2 にて増幅されたレーザ光 6 を反射して再び固体レーザ媒質 2 へ入射させる。

なお、第 1 図と同一構成要素には同一符号を付して重複する説明を省略した。また、これらの図では、固体レーザ媒質 2 とレーザ光 6 との関係がわかるよう、固体レーザ励起モジュールについて反射防止膜 1 やその他の構成の記載を省略している。

レーザ光 6 は、その光軸と法線 7 を含む面に垂直な方向（x 軸方向）の直線偏光（S 偏光）、又は、その光軸と法線 7 を含む面内で光軸に垂直な方向の直線偏光（P 偏光）で固体レーザ媒質 2 に入射される。第 5 図 A では、レーザ光 6 の偏光方向として S 偏光の場合を示している。

次に動作について説明する。

固体レーザ媒質 2 の側面より入射された励起光 8 は、その内部を反射しながら伝搬する。これにより、励起光 8 は、固体レーザ媒質 2 に吸収されて利得を発生させる。

パワーを増幅すべき対象であるレーザ光 6 は、固体レーザ媒質 2 に対して入射角 $\theta$ で入射し反射防止膜 1 を透過して全反射膜 3 に到達するまで固体レーザ媒質 2 により増幅される。全反射膜 3 に到達するまで固体レーザ媒質 2 により増幅されたレーザ光 6 は、全反射膜 3 で反射して、

再度固体レーザー媒質 2 中を通過する際に増幅される。

このあと、当該レーザー光 6 は、反射防止膜 1 を透過して外部に出力する。固体レーザー媒質 2 にて増幅されたレーザー光 6 は、全反射鏡 1 4 にて全反射されて固体レーザー媒質 2 に再度入射する。

上述した増幅過程が複数回繰り返された後、レーザー光 6 は、出力光として外部に出力される。第 5 図では、全反射鏡 1 4 によってレーザー光 6 が固体レーザー媒質 2 にて 3 回増幅過程を経たのち出力する例を示している。

このとき、レーザー光 6 は、S 偏光又は P 偏光としてレーザー媒質 2 に入射するので、レーザー媒質 2 で発生する熱複屈折の影響を受けず、偏光状態を保持して増幅される。

ここで、レーザー光 6 の光軸と法線 7 を含む面に垂直な方向を x 軸、法線 7 方向を z 軸、x z 平面の法線方向を y 軸とし、レーザー光 6 の固体レーザー媒質 2 における反射回数を m とすると、固体レーザー媒質 2 の x 軸方向の大きさ a 及び y 軸方向の大きさ  $b_a$  は、レーザー光 6 が通過する領域のみを考慮すると下記式 (3) の関係を有する。但し、m は、正の整数である。

$$b_a = m \cdot a / \cos \theta \quad \dots (3)$$

このように、本実施の形態によるモジュールでは、第 1 図に示した固体レーザー励起モジュールに比べて、実質的に y 軸方向に m 倍の長さを有することとなる。このため、レーザー光 6 のビーム径を一定に保ちながら m 倍のパワーを蓄積することが可能である。

さらに、レーザー光 6 は、固体レーザー媒質 2 の中を m 回通過するので、第 1 図に示した固体レーザー励起モジュールに比べてレーザー光 6 がレーザー媒質 2 内を通過する長さは m 倍となり、大きな利得を得ることが可能である。

本実施の形態による固体レーザー励起モジュールでは、入射角 $\theta$ 及びレーザー光6のビーム径を一定にして、大きな蓄積パワーと大きな利得が得られるため、高出力なレーザー光を高い効率で得ることができる。

また、第5図Aに示すように、本実施の形態においても、励起光8を固体レーザー媒質2の $x-y$ 面に平行な側面から入射している。

このように構成することで、励起光8の吸収長を $x$ 軸方向の大きさ $a$ 、固体レーザー媒質2の全蓄積パワーを $y$ 軸方向の大きさ $b_a$ でそれぞれ調整することができ、励起光8の吸収量と必要な蓄積パワーを独立して設計することが可能である。また、固体レーザー媒質2のディスクを構成する面のうち幅の広い面を使用するため、励起光8を入射することが容易である。

第5図では、励起光8を固体レーザー媒質2の $x-y$ 面に平行な側面から入射しているが、 $x-z$ 面に平行な面から入射してもよい。このように構成すれば、励起光8について長い吸収長が得られるので、励起光8の吸収が小さな材料で固体レーザー媒質2を作成した場合であっても高い吸収効率が得られる。

また、固体レーザー媒質2について $x$ 軸方向の大きさ $a$ とレーザー光6のビーム径との比を一定にした状態で吸収長を変えることができるので、励起光8の吸収量とレーザー光6のビーム径とを独立して設計することが可能である。

なお、上記実施の形態3では、固体レーザー媒質2について上記式(3)を満たす大きさとする例を示したが、 $b_a > a$ であれば、ほぼ同様の効果が得られることは明かである。特に、入射するレーザー光6の断面形状が円形でなく、楕円形や長方形である場合が挙げられる。

この場合、固体レーザー媒質2の表面におけるレーザー光6の照射領域の大きさと固体レーザー媒質2の入射面の大きさとの比を、 $x$ 軸方向及び $y$

軸方向に同じ値を持つように設定する。このようにすれば、レーザ光 6 の照射領域の大きさと固体レーザ媒質の入射面の大きさがほぼ等しくなり、固体レーザ媒質 2 に蓄えられたパワーを効率よく取り出すことが可能である。

#### 実施の形態 4.

上記実施の形態 3 では、入射するレーザ光 6 の偏光状態を固体レーザ媒質 2 に対して S 偏光又は P 偏光に制限する必要があった。この実施の形態 4 は、上記実施の形態 3 と同様に全反射鏡 4 を用いる構成において、任意の偏光状態のレーザ光 6 を増幅可能としたものである。

第 6 図は、この発明の実施の形態 4 による固体レーザ励起モジュールの構成を示す図である。本実施の形態による構成では、上記実施の形態 3 における固体レーザ媒質 2 を反射したレーザ光 6 の経路上に偏光回転素子 13 を配置したものである。

なお、第 1 図及び第 4 図と同一構成要素には同一符号を付して重複する説明を省略した。また、これらの図では、固体レーザ媒質 2 とレーザ光 6 との関係がわかるよう、固体レーザ励起モジュールについて反射防止膜 1 やその他の構成の記載を省略している。

次に動作について説明する。

固体レーザ媒質 2 に入射したレーザ光 6 は、固体レーザ媒質 2 中で増幅されて外部に出射される。固体レーザ励起モジュールから出射されたレーザ光 6 は、偏光回転素子 13 にて偏光が  $90^\circ$  回転されたあと、全反射鏡 14 にて反射して、固体レーザ媒質 2 に再度入射し増幅される。

ここで、固体レーザ媒質 2 に入射したレーザ光 6 の S 偏光成分は、偏光回転素子 13 により偏光が  $90^\circ$  回転されたあと、全反射鏡 14 で反射された後、固体レーザ媒質 2 に P 偏光として入射する。

一方、固体レーザー媒質 2 に入射したレーザー光 6 の P 偏光成分は、偏光回転素子 1 3 により偏光が  $90^\circ$  回転されたあと、全反射鏡 1 4 で反射された後、固体レーザー媒質 2 に S 偏光として入射する。

このように、上記構成では、熱複屈折の上記 2 つの軸方向の偏光成分に与える位相差が補償されるので、入射したレーザー光 6 の偏光状態が保持されて出力されることとなる。

つまり、第 6 図に示す固体レーザー励起モジュールでは、任意の偏光状態のレーザー光 6 を、偏光状態を変えずに増幅することができるので、直線偏光でない任意の偏光状態のレーザー光 6 を増幅するレーザー増幅器を構成することができる。

また、図示は省略したが、レーザー光 6 を反射させる全反射鏡と、レーザー光 6 の一部を反射し一部を透過させる部分反射鏡を用意し、固体レーザー媒質 2 側に入射する前のレーザー光 6 の光軸上に全反射鏡又は部分反射鏡を配置し、上記固体レーザー励起モジュールから出力されたレーザー光 6 の光軸上に部分反射鏡又は全反射鏡を設置する。

このようにすることで、レーザー光 6 が上記全反射鏡、本実施の形態による固体レーザー励起モジュール及び上記部分反射鏡からなる経路でレーザー発振するレーザー共振器を構成することができる。

これにより、部分反射鏡から外部へ上記レーザー共振器にて増幅されたレーザー光 6 を出力するレーザー装置として使用することが可能である。このとき、熱複屈折により発生する上記 2 つの軸方向で発生する位相差が補償されるので、任意の偏光状態で高いビーム品質のレーザー出力を得ることができる。

なお、第 6 図では、固体レーザー媒質 2 における反射回数を 2 回とする例を示した。ここで、偏光回転素子 1 3 と固体レーザー媒質 2 を 2 回反射することにより、偏光状態の変化が補償される。このため、レーザー媒質

2における反射回数を $2k$ 回（ $k$ は自然数）とし、奇数番目の反射の後に偏光回転素子13を配置してもよい。

つまり、レーザ光6は、固体レーザ媒質2にて増幅された後、全反射膜3で1回目の反射が行われ、全反射鏡14に至るまでの光軸上に配置された1個目の偏光回転素子13で偏光が $90^\circ$ 回転された後、全反射鏡14にて固体レーザ媒質2側へ反射される。

全反射鏡14にて反射されたレーザ光6は、固体レーザ媒質2に再び入射して増幅された後、全反射膜3で2回目の反射が行われ、全反射鏡14にて固体レーザ媒質2側へ反射される。

さらに、全反射鏡14にて反射されたレーザ光6は、固体レーザ媒質2にて増幅された後、全反射膜3で3回目の反射が行われ、全反射鏡14に至るまでの光軸上に配置された2個目の偏光回転素子13で偏光が $90^\circ$ 回転された後、全反射鏡14にて固体レーザ媒質2側へ反射される。

さらに、全反射鏡14にて反射されたレーザ光6は、固体レーザ媒質2にて増幅された後、全反射膜3で4回目の反射が行われ、全反射鏡14にて固体レーザ媒質2側へ反射される。

このような過程を繰り返し行い、固体レーザ媒質2にて増幅されたレーザ光6が、全反射膜3で $2k-1$ 回目の反射が行われる度に、反射後のレーザ光6の経路にそれぞれ配置された $k$ 個の偏光回転素子13でその偏光が $90^\circ$ 回転される。

また、固体レーザ媒質2にて増幅されたレーザ光6が、全反射膜3で $2k$ 回目の反射が行われる際は、偏光回転素子13を通過させることなく、全反射鏡14にて反射され、再び固体レーザ媒質2へ入射する。

このように構成することで、熱複屈折の上記2つの軸方向の偏光成分に与える位相差が補償されるので、入射したレーザ光6の偏光状態が保

持されて出力されることとなる。

つまり、第6図に示す固体レーザー励起モジュールでは、任意の偏光状態のレーザー光6を、偏光状態を変えずに増幅することができるので、直線偏光でない任意の偏光状態のレーザー光6を増幅するレーザー増幅器を構成することができる。

また、第6図では、レーザー光6の偏光を $90^\circ$ 回転させるために、偏光回転素子13を用いる例を示したが、全反射鏡14に偏光を $90^\circ$ 回転させる効果を持たせることも可能である。例えば、全反射鏡14の表面に偏光を $45^\circ$ 回転させる旋光子を配置すれば、レーザー光6が全反射鏡14で反射される際に旋光子を2回通過することとなる。

これにより、レーザー光6の偏光は $90^\circ$ 回転される。また、レーザー光6の偏光を回転させるにあたり、全反射鏡14としてプリズムを用い、プリズムの内部全反射による偏光回転効果や空間分布を回転させる効果を用いるようにしてもよい。

#### 実施の形態5.

上記実施の形態3に示した固体レーザー励起モジュールでは、全反射膜3と全反射鏡14との間でレーザー光6が反射を繰り返しながら固体レーザー媒質2中を伝搬するにあたり、固体レーザー媒質2中にレーザー光6が通過しない領域が生じる。

励起光8によって全体的に励起された固体レーザー媒質2にレーザー光6が通過しない場合、励起により蓄積されたパワーがレーザー光6により取り出されない。このため、蓄積パワーが残留し、レーザー装置の効率を低下させてしまう。

また、固体レーザー媒質2にレーザー光6が通過しない領域が発生しないように、反射するレーザー光6をいくつか重ねて通過させようとする、



不可避免的にレーザ光 6 のビーム幅が広がってしまう。このため、レーザ光 6 が固体レーザ媒質 2 に入射するとき及びレーザ光 6 が固体レーザ媒質 2 から外部へ出射するときに全反射鏡 1 4 による遮蔽が発生して、レーザ装置の効率を低下させてしまう。

この実施の形態 5 は、上記不具合を解消するものである。

第 7 図 A は、この発明の実施の形態 5 による薄ディスク型の固体レーザ媒質の構成を示す図である。固体レーザ媒質 2 a ~ 2 c 及びスラブ導波路 1 1 a ~ 1 1 d は、それぞれ薄いディスク形状を有している。励起媒質部 1 5 は、スラブ導波路 1 1 a ~ 1 1 d を介して固体レーザ媒質 2 a ~ 2 c を接合して構成され、一方向に長手方向を有する平板形状を有している。また、固体レーザ媒質 2 a ~ 2 c は、第 1 図で示した固体レーザ媒質 2 と同様の機能を有する。

固体レーザ媒質 2 a ~ 2 c とスラブ導波路 1 1 a ~ 1 1 d との接合は、上記実施の形態 1 で示したように、オプティカルコンタクトや拡散接合により行われる。また、励起媒質部 1 5 として、上記実施の形態 1 で示したように、固体レーザ媒質 2 a ~ 2 c とスラブ導波路 1 1 a ~ 1 1 d を、セラミックを用いた一体構造で形成してもよい。

第 7 図 B は、この発明の実施の形態 5 による固体レーザ励起モジュールの構成を示す x z 面での断面図であり、第 7 図 A 中の励起媒質部 1 5 を用いている。励起媒質部 1 5 の上面全体には、第 1 図中で説明したものと同一の機能を有する反射防止膜 1 を設けている。

また、励起媒質部 1 5 の下面全体には、全反射膜 3 が施され、接合剤 4 によりヒートシンク 5 に固定されている。これら全反射膜 3、接合剤 4 及びヒートシンク 5 の機能は、第 1 図で説明したものと同様である。

レーザ光 6 は、その光軸と励起媒質部 1 5 の入射面における法線 7 とを含む面に垂直な方向（x 軸方向）の直線偏光（S 偏光）又は上記光軸

と法線 7 とを含む面内で上記光軸に垂直な方向の直線偏光（P 偏光）で入射される。

次に動作について説明する。

励起媒質部 1 5 の  $xz$  平面に平行な側面からスラブ導波路 1 1 a に入射させた励起光 8 は、その内部で反射を繰り返しながら伝搬して固体レーザー媒質 2 a に入射する。

固体レーザー媒質 2 a に入射した励起光 8 は、固体レーザー媒質 2 a に吸収されて利得を発生させる。このとき、固体レーザー媒質 2 a に吸収されなかった残留励起光は、固体レーザー媒質 2 a を通過してスラブ導波路 1 1 b に入射し、その内部で反射を繰り返しながら伝搬して固体レーザー媒質 2 b に入射する。これにより、固体レーザー媒質 2 a からの残留励起光は、固体レーザー媒質 2 b に吸収されて利得を発生させる。

さらに、固体レーザー媒質 2 b においても吸収されなかった残留励起光は、固体レーザー媒質 2 b を通過してスラブ導波路 1 1 c に入射し、その内部で反射を繰り返しながら伝搬して固体レーザー媒質 2 c に入射する。ここでも、同様に、固体レーザー媒質 2 b からの残留励起光は、固体レーザー媒質 2 c に吸収されて利得を発生させる。

最後に、固体レーザー媒質 2 c においても吸収されなかった残留励起光は、固体レーザー媒質 2 c を通過してスラブ導波路 1 1 d に入射し、その内部で反射を繰り返しながら伝搬して励起媒質部 1 5 から出射する。

励起媒質部 1 5 の  $xz$  平面に平行な側面からスラブ導波路 1 1 d に入射させた励起光 8 は、上述した過程と同様にして、各固体レーザー媒質 2 a ~ 2 c において利得を発生させる。

つまり、スラブ導波路 1 1 d から入射した励起光 8 は、固体レーザー媒質 2 c において吸収されて利得を発生させ、固体レーザー媒質 2 c に吸収されなかった残留励起光が固体レーザー媒質 2 b にて利得を発生させ、固

体レーザー媒質 2 b に吸収されなかった残留励起光が固体レーザー媒質 2 a にて利得を発生させる。

励起媒質部 1 5 に入射角  $\theta$  で入射したレーザー光 6 は、反射防止膜 1 を透過して、固体レーザー媒質 2 a に入射して増幅される。このレーザー光 6 は、全反射膜 3 により反射された後、固体レーザー媒質 2 a により再度増幅されて反射防止膜 1 を透過して出射される。

このレーザー光 6 は、全反射鏡 1 4 で全反射されて励起媒質部 1 5 に入射角  $\theta$  にて入射し、反射防止膜 1 を透過して固体レーザー媒質 2 b に入射して増幅される。増幅されたレーザー光 6 は、全反射膜 3 により反射された後、固体レーザー媒質 2 b により再度増幅されて反射防止膜 1 を透過して出射される。

さらに、このレーザー光 6 は、全反射鏡 1 4 で全反射されて、励起媒質部 1 5 に入射角  $\theta$  にて入射し、反射防止膜 1 を透過して固体レーザー媒質 2 c に入射して増幅される。増幅されたレーザー光 6 は、全反射膜 3 により反射された後、固体レーザー媒質 2 c により再度増幅されて反射防止膜 1 を透過して外部に出射される。

ここで、レーザー光 6 は、S 偏光又は P 偏光として固体レーザー媒質 2 a ~ 2 c に入射させるので、固体レーザー媒質 2 a ~ 2 c で発生する熱複屈折の影響を受けず、偏光状態を保持して増幅される。

このように、レーザー光 6 が通過する領域にのみ固体レーザー媒質 2 a ~ 2 c を配置することで、励起媒質部 1 5 においてレーザー光 6 によって取り出されずに残留する蓄積パワーが少なくなり、効率の高い固体レーザー励起モジュールを構成することができる。

また、励起光 8 を複数の固体レーザー媒質 2 a ~ 2 c に吸収させるため、励起光 8 の吸収効率が高くなり、これによっても効率の高い固体レーザー励起モジュールの具現化に寄与することができる。

さらに、これら固体レーザー媒質 2 a ~ 2 c にレーザー光 6 を複数回反射させて増幅することにより、大きな蓄積パワーと大きな利得が得られるため、高出力なレーザー光 6 を高い効率で得ることができるレーザー装置を提供することが可能である。

さらに、本実施の形態では、励起光 8 を発生する半導体レーザー (LD) などの光源を、スラブ導波路 1 1 a 側とスラブ導波路 1 1 d 側の 2 組だけ用意すればよい。このため、第 1 図に示したような 1 つの固体レーザー媒質 2 を扱う固体レーザー励起モジュールを複数個配置する構成と比較して、小型な固体レーザー励起モジュールを提供することができる。

さらに、励起光 8 による蓄積パワーが固体レーザー媒質 2 a ~ 2 c に分散されるため、個々の固体レーザー媒質における発熱量を低減することができる。これにより、固体レーザー媒質の温度上昇が抑制され、高効率なレーザー装置を得ることができる。

このように、1 個の固体レーザー媒質における発熱量が低減されると、一般的に最大使用温度が低い有機系などの接着剤を接合剤 4 として用いることも可能となる。

上述したような有機系の接着剤には、接合すべき部材の接合面に存在する微小な凹凸を被覆するように浸透して接着することができるものがある。

このような接着剤を接合剤 4 として用いることで、ヒートシンク 5 の表面精度が悪い場合であっても、ヒートシンク 5 に対して反射防止膜 1、固体レーザー媒質 2 及び全反射膜 3 までの構成を固定することが容易になる。

また、固体レーザー媒質 2 に比べて柔らかい、即ち軟性を有する接着剤を接合剤 4 として使用することで、固体レーザー媒質 2 への応力を緩和する緩衝材としての効果も期待することができる。

上記実施の形態 1 と同様に、1 個の固体レーザ媒質における発熱量が低減されると、接合剤 4 として、励起光 8 が固体レーザ媒質 2 a ~ 2 c 内で全反射条件を満たす屈折率を有し、且つ励起光 8 の吸収が少ない光学接着剤を用いることができる。

つまり、励起媒質部 1 5 内部での全反射によって励起光 8 を励起媒質部 1 5 内に閉じこめることが可能となる。これにより、励起光 8 の損失が少なく、効率の高い励起モジュールを実現可能である。

また、上記光学接着剤を接合剤 4 として用いれば、全反射膜 3 に対して励起光 8 を全反射する機能が要求されなくなるため、膜設計が容易になり、薄い膜厚を実現することができる。

なお、第 7 図 B では、励起媒質部 1 5 に対して反射防止膜 1、全反射膜 3、接合剤 4 及びヒートシンク 5 を一体に設けた構成を示したが、固体レーザ媒質 2 a ~ 2 c に対して、反射防止膜 1、全反射膜 3、接合剤 4 及びヒートシンク 5 をそれぞれ設置するようにしてもよい。

また、第 7 図では、全反射鏡 1 4 を 1 枚で構成する例を示したが、レーザ光 6 が入射する領域のみに複数の全反射鏡 1 4 を配置してもよい。

励起媒質部 1 5 は、第 7 図 A、B において固体レーザ媒質 2 a ~ 2 c を 3 個で構成した例を示したが、2 個以上であれば同様の効果が得られることは明らかである。

励起媒質部 1 5 として第 8 図 A ~ 第 8 図 H に示すような構成を採用してもよい。

第 8 図 A に示す励起媒質部 1 5 は、第 7 図と異なり x 軸方向の固体レーザ媒質 2 の側面を含む固体レーザ媒質 2 の外周全体がスラブ導波路 1 1 A に覆われた構成を有している。この構成では、励起光 8 を励起媒質部 1 5 の y 軸方向の側面からだけでなく、x 軸方向の側面からも入射することが可能である。

これにより、励起媒質部 15 における励起分布を均一にすることができるといふ効果がある。なお、スラブ導波路 11A に入射した励起光 8 は、上述した過程と同様に、その内部で反射を繰り返しながら伝搬して固体レーザ媒質 2 に入射する。

また、第 8 図 B に示す励起媒質部 15 は、固体レーザ媒質 2 における x 軸方向の 1 つの側面のみがスラブ導波路 11B に覆われない構成を有している。この構成では、x 軸方向の両側面から励起光 8 を照射することで、いずれの固体レーザ媒質 2 もスラブ導波路 11B を介することなく励起光 8 が直接入射される。

このため、第 7 図に示す励起媒質部 15 のように、ある固体レーザ媒質 2 で吸収されなかった残留励起光を他の固体レーザ媒質 2 に吸収させる構成と比較して、複数の固体レーザ媒質 2 の個々の蓄積パワーを均一にさせることができる。

第 8 図 C 及び第 8 図 D は、固体レーザ媒質 2 を y 軸方向に並べ、これらの x 軸方向及び y 軸方向の全ての側面を覆うようにスラブ導波路 11C, 11D を設けた励起媒質部 15 を示している。第 8 図 C に示す励起媒質部 15 におけるスラブ導波路 11C は、x 軸方向の側面を直線的にテーパ状に加工している。また、第 8 図 D に示す励起媒質部 15 におけるスラブ導波路 11D は、x 軸方向の側面を曲線的にテーパ状に加工している。

これら励起媒質部 15 の y 軸方向の両側面から入射した励起光 8 は、励起媒質部 15 内で固体レーザ媒質 2 に吸収されるに伴って、吸収されなかった残留励起光分の強度に低下してゆく。このとき、テーパ形状に加工されたスラブ導波路 11C, 11D によって、残留励起光は、励起媒質部 15 の中心方向に伝搬するに従って集光される。

つまり、テーパ形状に加工されたスラブ導波路 11C, 11D では、

励起光 8 の入射端面から離れた励起媒質部 1 5 の中心部に至るまでに断面積が徐々に小さくなるため、中心部にて励起光 8 が集光することとなる。

このように、第 8 図 C 及び第 8 図 D に示す構成では、残留励起光を集光しながら伝搬させて固体レーザ媒質 2 に吸収させるので、複数の固体レーザ媒質 2 の蓄積パワーを均一にすることが可能である。

第 8 図 E 及び第 8 図 F では、固体レーザ媒質 2 を y 軸方向に並べるだけでなく、x 軸方向にも配置した構成を示している。これらの構成は、固体レーザ媒質 2 の数を多くするので蓄積パワーをさらに大きくすることができる。

また、x 軸方向に複数の固体レーザ媒質 2 が配置されることより、励起媒質部 1 5 において励起光 8 の入射面となる y 軸方向の両側面を大きくすることができ、励起光の導入を容易に実行することができる。

第 8 図 F に示す構成では、励起媒質部 1 5 の中心部に配置した固体レーザ媒質 2 の数が、スラブ導波路 1 1 E, 1 1 F の x 軸方向の両側面側に配置した固体レーザ媒質 2 よりも少ない。

y 軸方向の両側面から励起光 8 を入射すると、励起光 8 は、y 軸方向の両側面側に配置した固体レーザ媒質 2 によって吸収され、これら固体レーザ媒質 2 に吸収されなかった残留励起光が中心部の固体レーザ媒質 2 に吸収されることとなる。

ここで、第 8 図 E のように、y 軸方向の両側面側に配置した固体レーザ媒質 2 と同数の固体レーザ媒質 2 が中心部に配置されていると、残留励起光を分け合うことになる。これにより、中心部に配置した固体レーザ媒質 2 に生成される蓄積パワーは、y 軸方向の両側面側に配置した固体レーザ媒質 2 よりも低下する。

そこで、第 8 図 F に示すように、励起媒質部 1 5 の中心部に配置する

固体レーザー媒質 2 の数を減らしておけば、残留励起光を吸収する対象が減ることとなる。従って、結果的に励起媒質部 1 5 内に配置された複数の固体レーザー媒質 2 の蓄積パワーを均一にすることができる。

第 8 図 G 及び第 8 図 H は、第 8 図 E 及び第 8 図 F と同様に x 軸方向にも固体レーザー媒質 2 を配置する。また、固体レーザー媒質 2 の側面を覆うスラブ導波路 1 1 G, 1 1 H は、第 8 図 C 及び第 8 図 D と同様にテーパ形状に加工されている。

このように構成すれば、第 8 図 C 及び第 8 図 D に示した構成と同様に固体レーザー媒質 2 に蓄積される蓄積パワーを均一にすることができる。また、第 8 図 E 及び第 8 図 F に示した構成と同様に固体レーザー媒質 2 の蓄積パワーを増加させることもできる。

ここで、第 8 図 A から第 8 図 H まででは、固体レーザー媒質 2 の入射面の形状が矩形である例を示したが、固体レーザー媒質 2 の入射面として円形又は楕円形としたものを複数配置してもよい。

このように構成すれば、光軸に垂直な断面形状が円形のレーザー光 6 に対する取り出し効率を向上させることができるため、高い効率でレーザー光を得ることが可能となる。

さらに、第 6 図に示した構成と同様に、励起媒質部 1 5 の y 軸方向に配置する固体レーザー媒質 2 の個数を  $2k$  個 ( $k$  は自然数) とし、奇数番目の固体レーザー媒質 2 から反射されたレーザー光 6 の偏光を  $90^\circ$  回転させる偏光回転素子 1 3 をそれぞれ配置して固体レーザー励起モジュールを構成してもよい。

このように構成すれば、熱複屈折の上記 2 つの軸方向についてレーザー光 6 の偏光成分に与える位相差が補償される。これにより、任意の偏光状態のレーザー光 6 を入射しても、その偏光状態が保持されて出射されるので、任意の偏光状態のレーザー光 6 を増幅することができる。



また、この固体レーザー励起モジュールにてレーザー発振器を構成すれば、任意の偏光状態のレーザー光 6 を用いて高いビーム品質のレーザー出力を得ることができる。

#### 実施の形態 6 .

上記実施の形態 5 では、1 つのレーザー光により複数の固体レーザー媒質に蓄積されたパワーを取り出す構成について説明したが、この実施の形態 6 は複数の固体レーザー媒質から複数のレーザー光により蓄積パワーを取り出すものである。

第 9 図は、この発明の実施の形態 6 による固体レーザー励起モジュールを用いたレーザー装置の構成を示す図である。部分反射鏡 1 6 は、レーザー光 6 a ~ 6 c の一部を反射し一部を透過する。なお、第 1 図及び第 7 図と同一構成要素には同一符号を付して重複する説明を省略した。また、これらの図では、固体レーザー媒質 2 a ~ 2 c とレーザー光 6 a ~ 6 c との関係がわかるよう、固体レーザー励起モジュールについて反射防止膜 1 や励起媒質部 1 5 の下面に形成する構成の記載を省略している。

次に動作について説明する。

励起媒質部 1 5 の x z 平面に平行な側面からスラブ導波路 1 1 a に入射させた励起光 8 は、スラブ導波路 1 1 a の内部で反射を繰り返しながら伝搬して固体レーザー媒質 2 a に入射する。

固体レーザー媒質 2 a に入射した励起光 8 は、固体レーザー媒質 2 a に吸収され、利得が発生する。このとき、固体レーザー媒質 2 a に吸収されなかった残留励起光は、固体レーザー媒質 2 a を通過してスラブ導波路 1 1 b に入射し、その内部で反射を繰り返しながら伝搬して固体レーザー媒質 2 b に入射する。これにより、固体レーザー媒質 2 a からの残留励起光は、固体レーザー媒質 2 b に吸収されて利得を発生させる。

さらに、固体レーザー媒質 2 b においても吸収されなかった残留励起光は、固体レーザー媒質 2 b を通過してスラブ導波路 1 1 c に入射し、その内部で反射を繰り返しながら伝搬して固体レーザー媒質 2 c に入射する。ここでも、同様に、固体レーザー媒質 2 b からの残留励起光は、固体レーザー媒質 2 c に吸収されて利得を発生させる。

最後に、固体レーザー媒質 2 c においても吸収されなかった残留励起光は、固体レーザー媒質 2 c を通過してスラブ導波路 1 1 d に入射し、その内部で反射を繰り返しながら伝搬して励起媒質部 1 5 から出射する。

励起媒質部 1 5 の x z 平面に平行な側面からスラブ導波路 1 1 d に入射させた励起光 8 は、上述した過程と同様にして、各固体レーザー媒質 2 a ~ 2 c において利得を発生させる。

つまり、スラブ導波路 1 1 d から入射した励起光 8 は、固体レーザー媒質 2 c において吸収されて利得を発生させ、固体レーザー媒質 2 c に吸収されなかった残留励起光が固体レーザー媒質 2 b にて利得を発生させ、固体レーザー媒質 2 b に吸収されなかった残留励起光が固体レーザー媒質 2 a にて利得を発生させる。

上述のようにして固体レーザー媒質 2 a ~ 2 c が励起されて利得が発生すると、部分反射鏡 1 6 を介してレーザー光 6 a ~ 6 c を励起媒質部 1 5 にそれぞれ入射させる。励起媒質部 1 5 に入射したレーザー光 6 a ~ 6 c は、反射防止膜 1 を透過して、固体レーザー媒質 2 a ~ 2 c に入射して増幅される。増幅されたレーザー光 6 a ~ 6 c は、全反射膜 3 により反射された後、固体レーザー媒質 2 a ~ 2 c により再度増幅されて反射防止膜 1 を透過して出射される。

励起媒質部 1 5 により増幅されて出射したレーザー光 6 a ~ 6 c は、部分反射鏡 1 6 に到達すると、一部が透過し一部は反射して励起媒質部 1 5 に再び入射する。この過程を繰り返すことで、励起媒質部 1 5 と部分

反射鏡 1 6 との間でレーザ光 6 a ~ 6 c によるレーザ発振が起こり、十分にパワーが増幅されたレーザ光 6 a ~ 6 c を部分反射鏡 1 6 から外部へ出射することができる。即ち、複数のレーザ光 6 a ~ 6 c を出力するレーザ共振器として動作する。

このように構成すれば、複数の固体レーザ媒質 2 a ~ 2 c に蓄積されたパワーを、複数のレーザ光 6 a ~ 6 c として外部に出力することができるため、高出力なレーザ出力を得ることができる。

また、本実施の形態では、励起光 8 を発生する半導体レーザ (LD) などの光源を、スラブ導波路 1 1 a 側とスラブ導波路 1 1 d 側の 2 組だけ用意すればよい。このため、第 1 図に示したような 1 つの固体レーザ媒質 2 を扱う固体レーザ励起モジュールを複数個配置する構成と比較して、小型な固体レーザ励起モジュールを提供することができる。

さらに、励起光 8 による蓄積パワーが固体レーザ媒質 2 a ~ 2 c に分散されるため、個々の固体レーザ媒質における発熱量を低減することができるため、固体レーザ媒質の温度上昇が抑制され、高効率なレーザ装置を得ることができる。

また、1 個の固体レーザ媒質における発熱量が低減されると、一般的に最大使用温度が低い有機系などの接着剤を接合剤 4 として用いることも可能となる。

また、上述したような有機系の接着剤には、接合すべき部材の接合面に存在する微小な凹凸を被覆して接着することができるものがある。

このような接着剤を接合剤 4 として用いることで、ヒートシンク 5 の表面精度が悪い場合であっても、ヒートシンク 5 に対して反射防止膜 1、固体レーザ媒質 2 及び全反射膜 3 までの構成を固定することが容易になる。

また、固体レーザ媒質 2 に比べて柔らかい、即ち軟性を有する接着剤

を接合剤 4 として使用することで、固体レーザー媒質 2 への応力を緩和する緩衝材としての効果も期待することができる。

上記実施の形態 1 と同様に、1 個の固体レーザー媒質における発熱量が低減されると、接合剤 4 として、励起光 8 が固体レーザー媒質 2 a ~ 2 c 内で全反射条件を満たす屈折率を有し、且つ励起光 8 の吸収が少ない光学接着剤を用いることができる。

つまり、この光学接着剤による接合剤 4 層での全反射によって接合剤 4 層と反射防止膜 1 との間で励起媒質部 1 5 内に励起光 8 を閉じこめることが可能となる。これにより、励起光 8 の損失が少なく、効率の高い励起モジュールを実現可能である。

また、上記光学接着剤を接合剤 4 として用いれば、全反射膜 3 に対して励起光 8 を全反射する機能が要求されなくなるため、膜設計が容易になり、薄い膜厚を実現することができる。

なお、第 9 図では、励起媒質部 1 5 に対して反射防止膜 1、全反射膜 3、接合剤 4 及びヒートシンク 5 を一体に設けた構成を示したが、固体レーザー媒質 2 a ~ 2 c に対して、反射防止膜 1、全反射膜 3、接合剤 4 及びヒートシンク 5 をそれぞれ設置するようにしてもよい。

また、第 9 図では、部分反射鏡 1 6 を 1 枚で構成する例を示したが、レーザー光 6 a ~ 6 c に対して部分反射鏡 1 6 をそれぞれ配置するようにしてもよい。

励起媒質部 1 5 は、第 9 図において固体レーザー媒質 2 a ~ 2 c を 3 個で構成した例を示したが、2 個以上であれば同様の効果が得られることは明らかである。

また、レーザー共振器で発生するレーザー光のビームモードを調整するため、レーザー光 6 a ~ 6 c に対してそれぞれ複数の凹面形状を有する部分反射鏡 1 6 を用いてもよい。このように構成すれば、所望のビームモー

ドを有するレーザ発振器を得ることができる。

さらに、部分反射鏡 16 の代わりに、レーザ光 6 a ~ 6 c の光路上にそれぞれレンズを配置し、平面鏡を用いて各レンズを介してレーザ光 6 a ~ 6 c を励起媒質部 15 に導くように構成してもよい。このように構成すれば、各レンズによりレーザ光 6 a ~ 6 c を集光して、レーザ共振器の安定条件を満たすビーム径とすることができる。

これにより、安定したレーザ発振器を得ることができる。また、部分反射鏡 16 を 1 枚の平面鏡で構成できるので、廉価にレーザ発振器を製造することもできる。

ここで、レーザ光 6 a ~ 6 c の光路上に配置するレンズは、1 つの基材にレンズをアレー状に加工したレンズアレーを用いてもよい。このように構成すれば、それぞれのレンズを個別に固定する必要がなく、レーザ装置の構成を簡略化することができる。また、安定したレーザ共振器を得ることもできる。

さらに、レーザ共振器内の複数のレーザ光 6 a ~ 6 c の位相を同期させてもよい。位相の同期は、例えば上記レーザ共振器を複数用意し、それぞれの共振器内に共通のシード光を入射して、シード光の位相に一致したレーザ発振を発生させるインジェクションシーディング法がある。また、上記レーザ共振器にて生成した各レーザ発振光の一部を他の共振器に混じり込むように配置して同じ位相で発振させる方法などにより実現可能である。

このように構成すれば、出力される複数のレーザ光の位相がそろっているため、複数のレーザ光全体を 1 つのレーザ光の出力光として取り扱うことができ、高出力でビーム品質の高いレーザ出力を得ることができる。

### 産業上の利用可能性

以上のように、この発明に係る固体レーザ励起モジュール及びレーザ共振器は、薄ディスク型レーザ媒質の励起時における温度上昇を抑制し、高い利得を得ることができることから、大きなレーザ光出力が要求されるレーザレーダ用レーザ装置や加工用レーザ装置に適用可能である。

## 請 求 の 範 囲

1. 励起光の吸収により発生した利得を与えてレーザー光を増幅する平板状の固体レーザー媒質と、

上記固体レーザー媒質のレーザー光入射面に対向する面側に設けられ、上記入射面から入射して上記固体レーザー媒質内を伝搬したレーザー光を反射する反射面部と、

上記反射面部を介して上記固体レーザー媒質から伝搬してくる熱を排熱する冷却部とを有してなる励起媒質部を備え、

上記固体レーザー媒質のレーザー光入射面は、上記レーザー光の光軸と上記固体レーザー媒質のレーザー光入射面上の法線とから定義される面に垂直な方向の大きさ  $a$  と、当該方向及び上記法線に垂直な長手方向の大きさ  $b$  とが、上記レーザー光の入射角  $\theta$  に対して、 $b = a / \cos \theta$  の関係を有する固体レーザー励起モジュール。

2. レーザ光は、その光軸と固体レーザー媒質のレーザー光入射面上の法線とから定義される面に垂直な方向又は当該面内の方向の偏光成分からなる直線偏光であることを特徴とする請求の範囲第1項記載の固体レーザー励起モジュール。

3. レーザ光の入射角  $\theta$  が、 $45^\circ$  以上であることを特徴とする請求の範囲第1項記載の固体レーザー励起モジュール。

4. レーザ光の入射角  $\theta$  が、固体レーザー媒質に固有のブリュースター角であることを特徴とする請求の範囲第1項記載の固体レーザー励起モジュール。

5. 励起光源が発生する励起光の入射端面とこの入射端面より小さい面積の出射端面とを有し、上記出射端面と固体レーザー媒質の励起光導入面とが接合されて、上記励起光導入面を介して上記励起光源からの励起光を上記固体レーザー媒質に導入するスラブ導波路部を備えたことを特徴とする請求の範囲第1項記載の固体レーザー励起モジュール。

6. 固体レーザー媒質より軟性を有し、接合すべき部材の接合面に存在する凹凸を被覆して接着する接着剤で反射面部と冷却部とを接合したことを特徴とする請求の範囲第1項記載の固体レーザー励起モジュール。

7. 固体レーザー媒質の屈折率よりも小さな屈折率を有する光学接着剤で反射面部と冷却部とを接合したことを特徴とする請求の範囲第1項記載の固体レーザー励起モジュール。

8. 励起媒質部の固体レーザー媒質のレーザー光入射面は、レーザー光の光軸と上記固体レーザー媒質のレーザー光入射面上の法線とから定義される面に垂直な方向の大きさ  $a$  と、当該方向及び上記法線に垂直な長手方向の大きさ  $b$  とが、上記レーザー光の入射角  $\theta$  に対して、 $b = a / \cos \theta$  の関係を有する領域を、上記長手方向に沿って少なくとも  $m$  個 ( $m$  は、正の整数) 有し、

反射面部で反射されたレーザー光を逐次反射して、入射角  $\theta$  で上記固体レーザー媒質に  $m$  回入射させる反射鏡部を備えたことを特徴とする請求の範囲第1項記載の固体レーザー励起モジュール。

9. 反射面部から反射鏡部に至るまでのレーザー光経路にレーザー光の偏光



を  $90^\circ$  回転させる偏光回転部を備えたことを特徴とする請求の範囲第 8 項記載の固体レーザー励起モジュール。

10. 反射鏡部は、反射面部から反射されたレーザー光の偏光を  $90^\circ$  回転させることを特徴とする請求の範囲第 8 項記載の固体レーザー励起モジュール。

11. 励起媒質部は、反射鏡部からのレーザー光を入射させる部位ごとに固体レーザー媒質を配置し、励起光を上記各固体レーザー媒質に伝搬させるスラブ導波路部を介して上記固体レーザー媒質間を接合してなることを特徴とする請求の範囲第 8 項記載の固体レーザー励起モジュール。

12. スラブ導波路部は、固体レーザー媒質のレーザー光入射面及び反射面部との接合面を除く全ての面を被覆すると共に、励起光の入射端面から離れた位置に配置された固体レーザー媒質に導入する励起光が集光されるように、上記入射端面から離れるにつれて断面積が小さくなる形状に構成したことを特徴とする請求の範囲第 11 項記載の固体レーザー励起モジュール。

13. 励起光の吸収により発生した利得を与えてレーザー光を増幅する平板状の固体レーザー媒質と、

上記固体レーザー媒質のレーザー光入射面に対向する面側に設けられ、上記入射面から入射して上記固体レーザー媒質内を伝搬したレーザー光を反射する反射面部と、

上記反射面部を介して上記固体レーザー媒質から伝搬してくる熱を排熱する冷却部とを有する励起媒質部を複数備え、

上記各固体レーザ媒質のレーザ光入射面は、上記レーザ光の光軸と上記固体レーザ媒質のレーザ光入射面上の法線とから定義される面に垂直な方向の大きさ  $a$  と、当該方向及び上記法線に垂直な長手方向の大きさ  $b$  とが、上記レーザ光の入射角  $\theta$  に対して、 $b = a \cdot \cos \theta$  の関係をそれぞれ有し、

上記各励起媒質部は、

上記固体レーザ媒質により増幅されて上記反射面部で反射されたレーザ光を出力光とし、

前段に配置された励起媒質部の出力光がその後段に配置された励起媒質部に入射するレーザ光となるように配置されて、上記レーザ光を逐次増幅する固体レーザ励起モジュール。

14. 前段の励起媒質部から後段の励起媒質部までのレーザ光経路にレーザ光の偏光を  $90^\circ$  回転させる偏光回転部を備えたことを特徴とする請求の範囲第13項記載の固体レーザ励起モジュール。

15. 後段の励起媒質部を、前段の励起媒質部に入射するレーザ光の光軸とその固体レーザ媒質におけるレーザ光入射面上の法線とから定義される面に垂直な方向が、自己に入射するレーザ光の光軸と自己の固体レーザ媒質におけるレーザ光入射面上の法線とから定義される面内に含まれる方向となるように配置することを特徴とする請求の範囲第13項記載の固体レーザ励起モジュール。

16. 励起光の吸収により発生した利得を与えてレーザ光を増幅する平板状の固体レーザ媒質と、

上記固体レーザ媒質のレーザ光入射面に対向する面側に設けられ、上

記入射面から入射して上記固体レーザ媒質内を伝搬したレーザ光を反射する反射面部と、

上記反射面部を介して上記固体レーザ媒質から伝搬してくる熱を排熱する冷却部とを有しており、

複数の上記レーザ光をそれぞれ入射させる部位ごとに上記固体レーザ媒質を配置し、励起光を上記各固体レーザ媒質に伝搬させるスラブ導波路部を介して上記固体レーザ媒質間を接合してなる励起媒質部と、

上記励起媒質部の固体レーザ媒質ごとに上記レーザ光の入射及び上記反射面部からの反射光の再入射を繰り返してレーザ発振させる光学系部とを備えたレーザ発振器。

17. 固体レーザ媒質ごとに発振させるレーザ光について各々の位相同期をとることを特徴とする請求の範囲第16項記載のレーザ発振器。

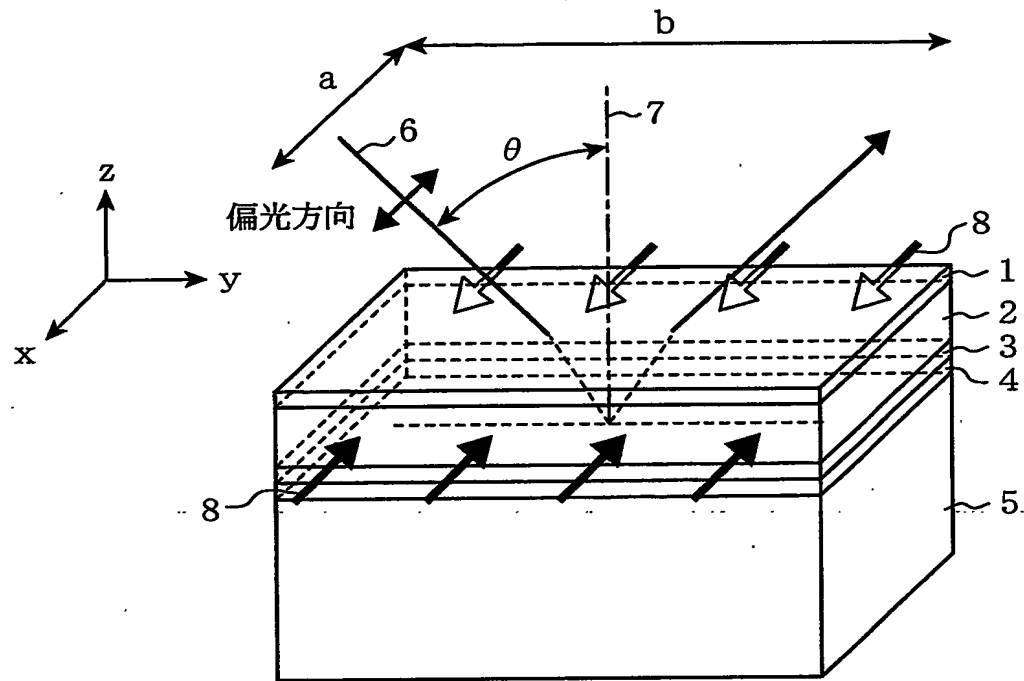
18. スラブ導波路部は、固体レーザ媒質のレーザ光入射面及び反射面部との接合面を除く全ての面を被覆すると共に、励起光の入射端面から離れた位置に配置された固体レーザ媒質に導入する励起光が集光されるように、上記入射端面から離れるにつれて断面積が小さくなる形状に構成したことを特徴とする請求の範囲第16項記載のレーザ発振器。

19. 固体レーザ媒質より軟性を有し、接合すべき部材の接合面に存在する凹凸を被覆して接着する接着剤で反射面部と冷却部とを接合したことを特徴とする請求の範囲第16項記載のレーザ発振器。

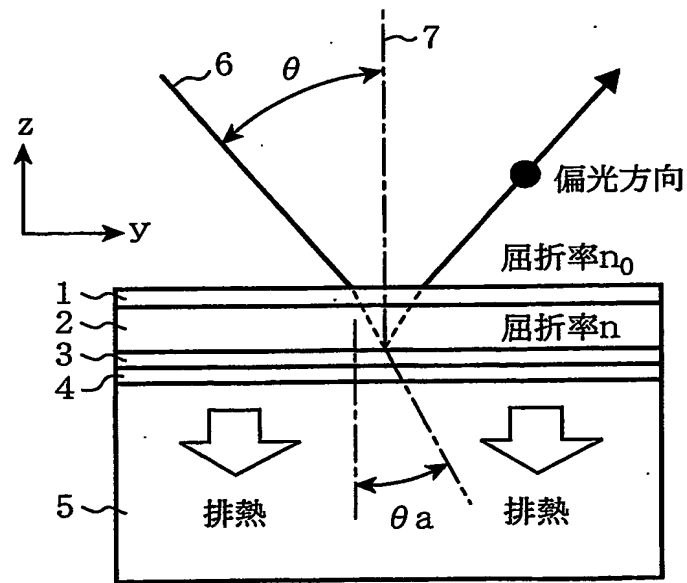
20. 固体レーザ媒質の屈折率よりも小さな屈折率を有する光学接着剤で反射面部と冷却部とを接合したことを特徴とする請求の範囲第16項

記載のレーザ発振器。

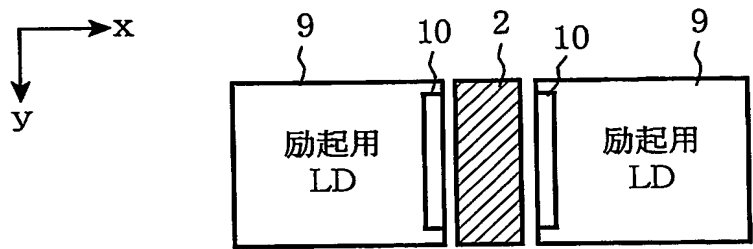
第1図A



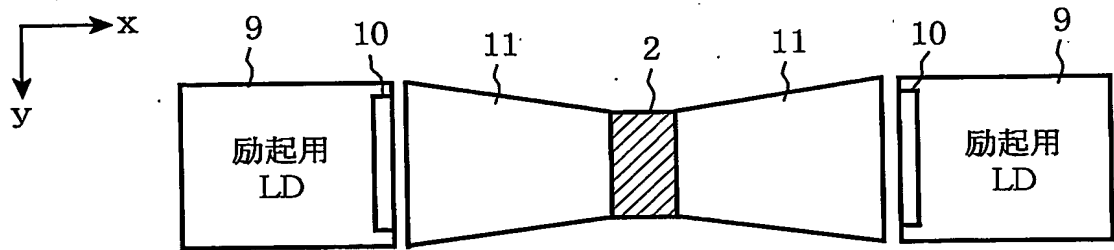
第1図B



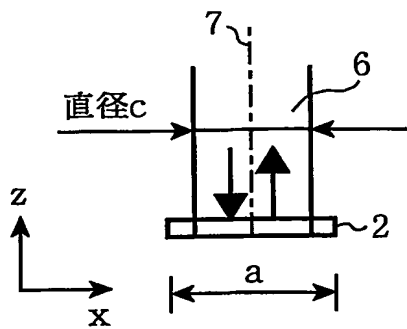
第2図A



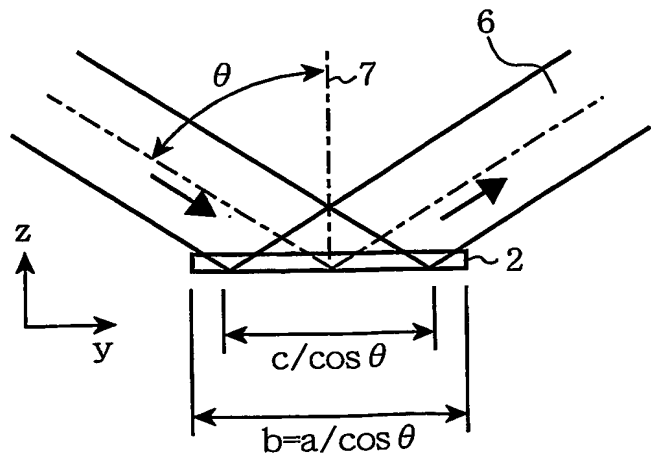
第2図B



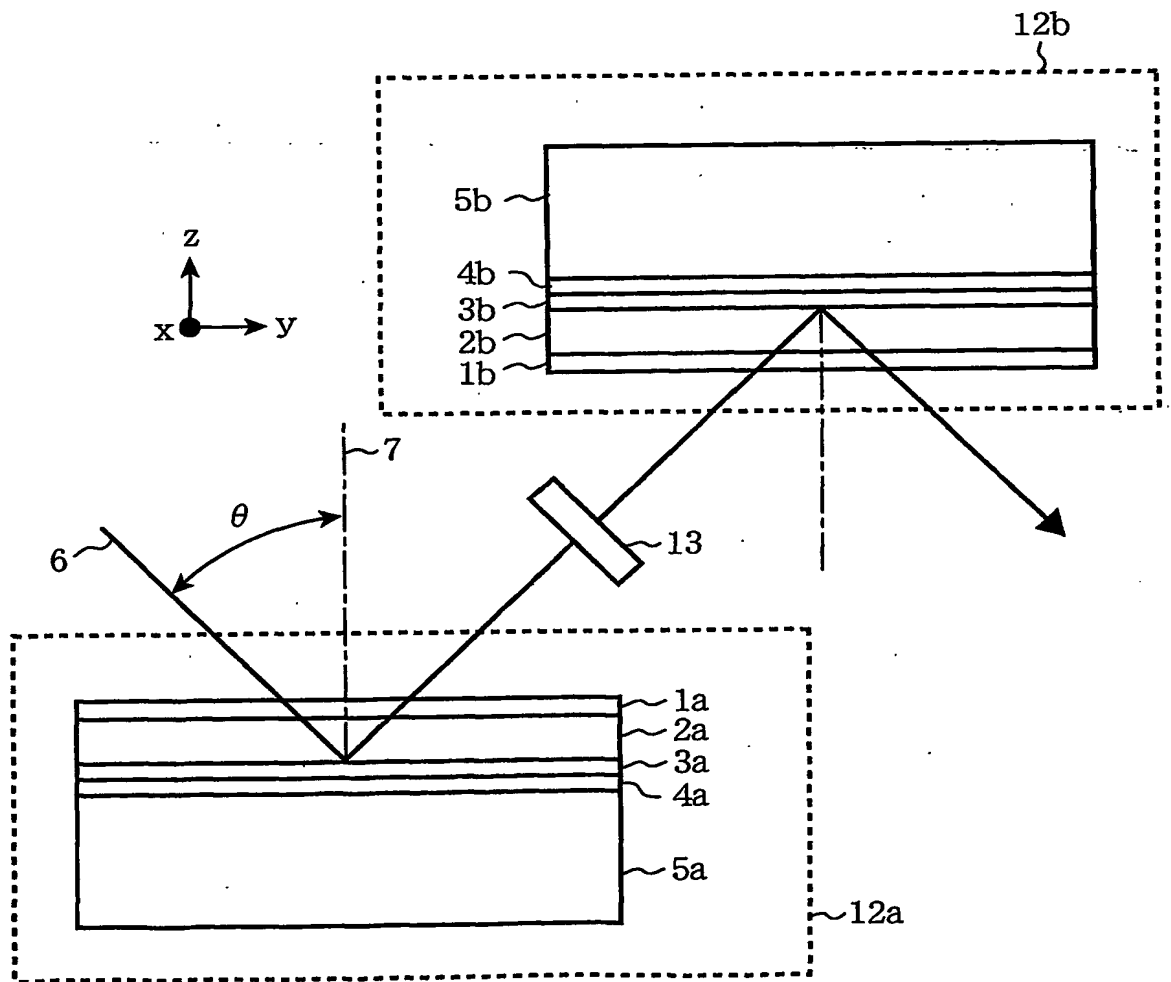
第3図A



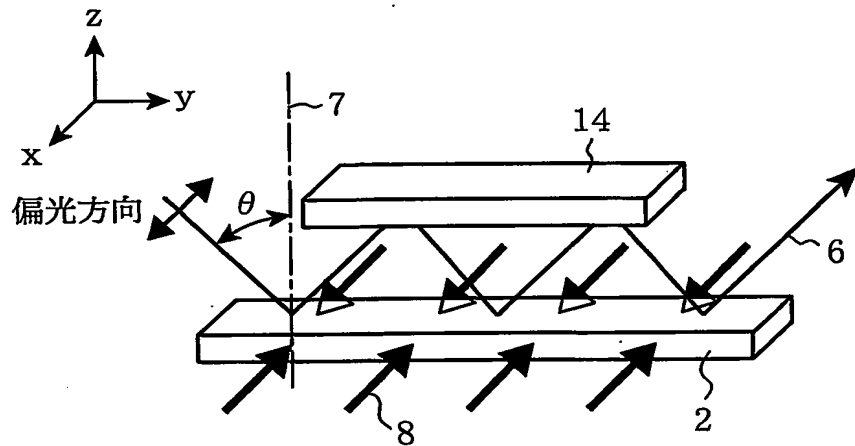
第3図B



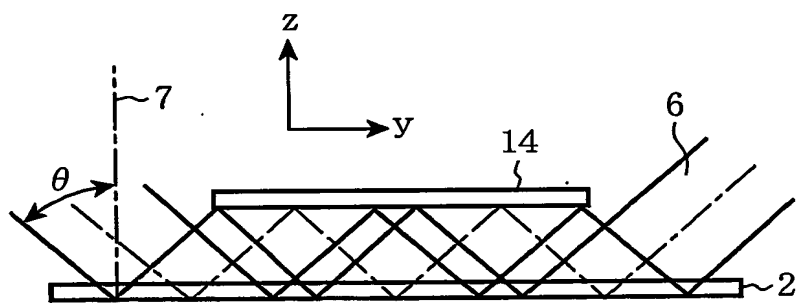
第4図



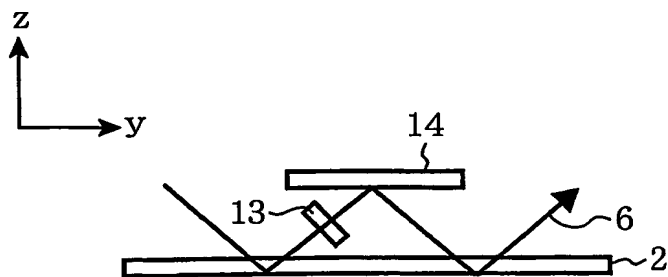
第5図A



第5図B

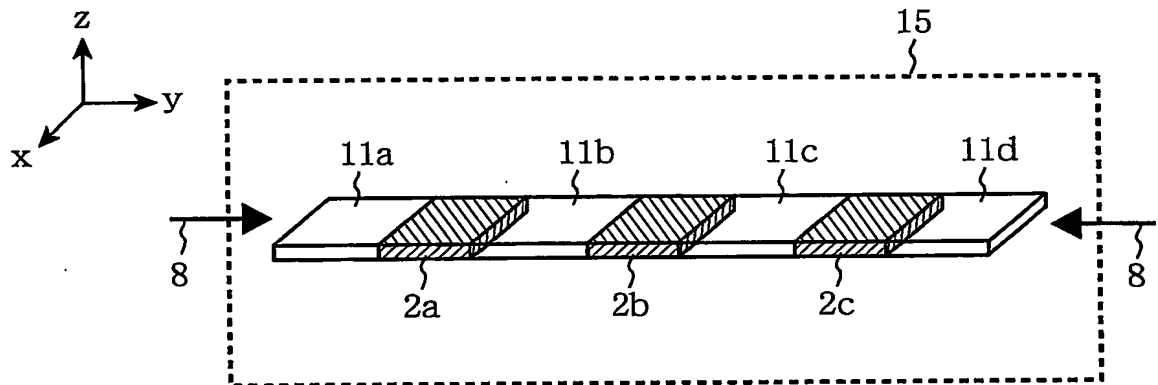


第6図

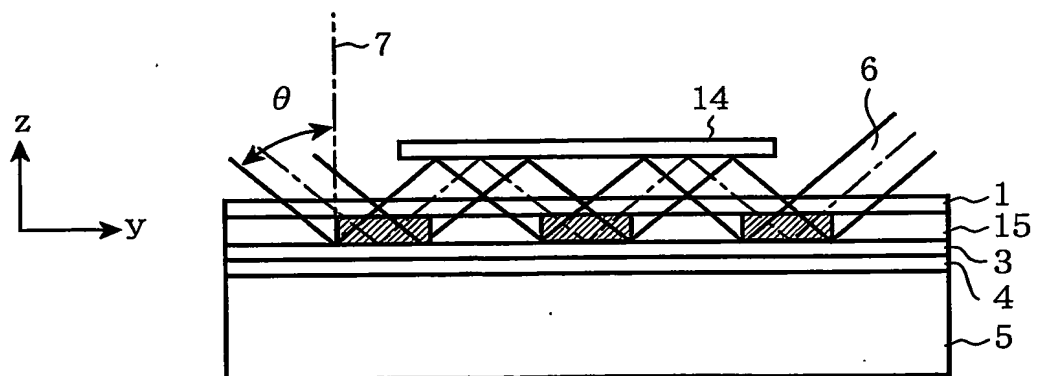


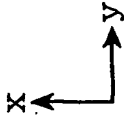


第7図A

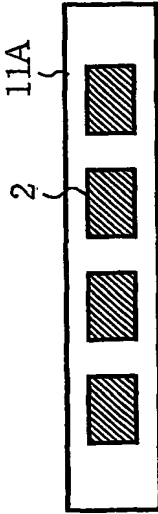


第7図B

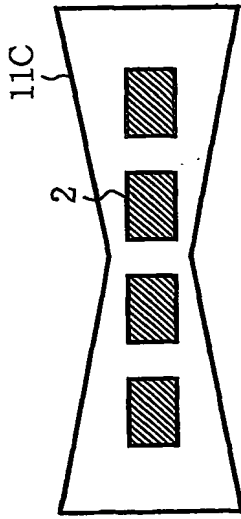




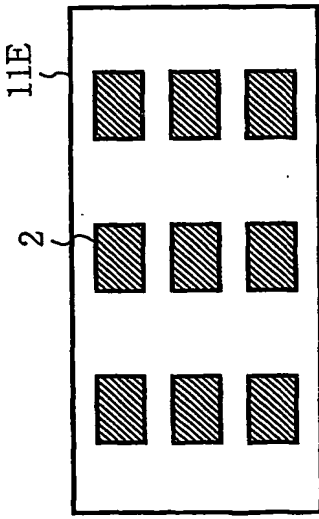
第8図A



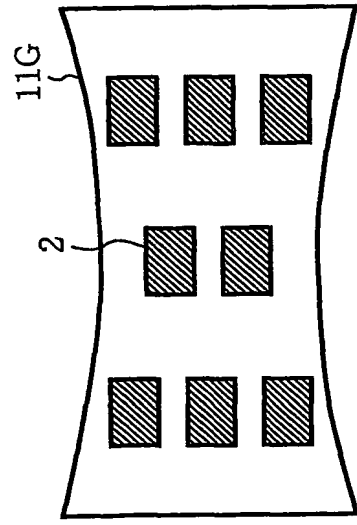
第8図C



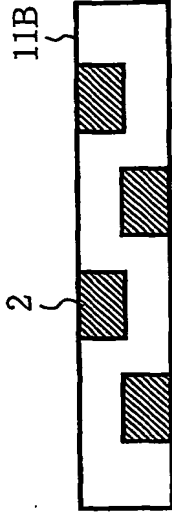
第8図E



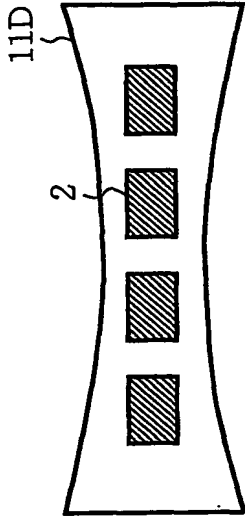
第8図G



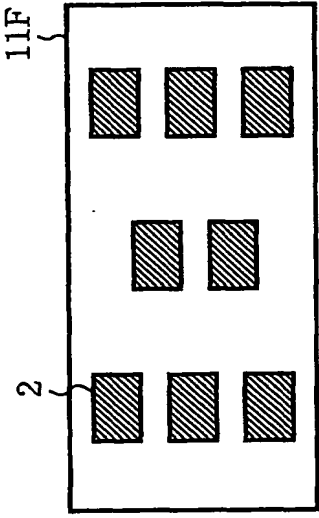
第8図B



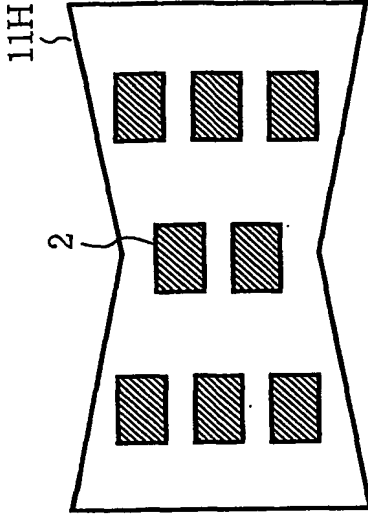
第8図D



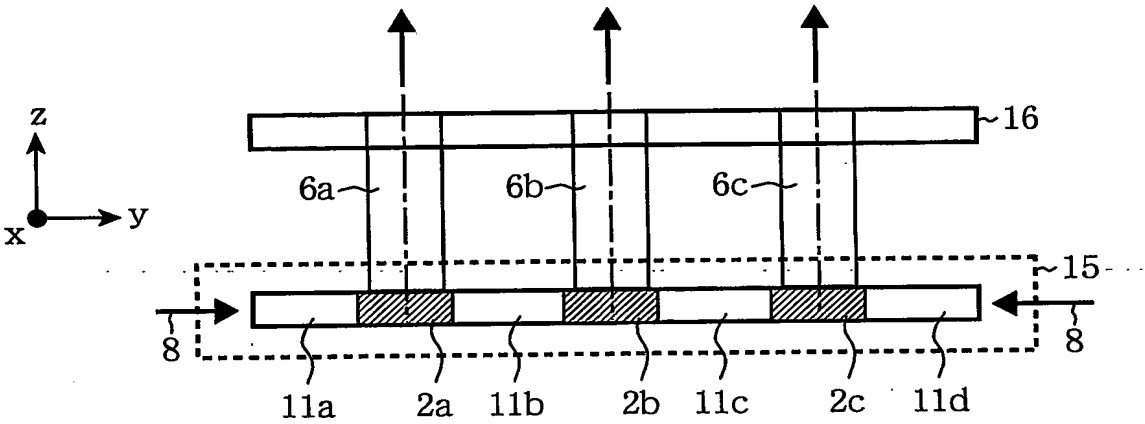
第8図F



第8図H



第9図



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/09603

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> H01S3/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>7</sup> H01S3/00-3/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	US 5926494 A (Hughes Electronics Corp.), 20 July, 1999 (20.07.99), Figs. 1, 2, 4 to 6; description, column 5, line 25 to column 7, line 4; column 1, lines 29 to 64 (Family: none)	1-3, 8, 13 4-7, 9-12, 14-15
Y	GB 1488406 A (Compagnie Industrielle Des Lasers), 12 October, 1977 (12.10.77), Description, column 1, lines 12 to 19 & JP 50-143494 A & FR 2260883 A & DE 2505641 A	4



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
17 November, 2003 (17.11.03)

Date of mailing of the international search report  
02 December, 2003 (02.12.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/09603

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-284257 A (NEC Corp.), 15 October, 1999 (15.10.99), Claims; all drawings (Family: none)	5, 11-12
Y	US 5159605 A (Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha), 27 October, 1992 (27.10.92), Description, column 9, lines 24 to 33; Fig. 17 & JP 2000-286485 A Claims 5 to 6 & JP 4-174577 A & DE 4101403 A & US 5257277 A & GB 2241109 A	6-7
Y	Walter Koechner., Solid-State Laser Engineering., Germany: Springer-Verlag, 1999, pages 425 to 428  US 5553088 A (Deutsche Forschungsanstalt fuer Luft- und Raumfahrt e.V.), 03 September, 1996 (03.09.96), Description, column 9, lines 16 to 41; Fig. 1	9-10, 14-15
X A	Abstract; Figs. 16 to 20 & EP 632551 A & DE 4344227 A	1 1-20
A	Arturo Chavez-Pirson et al., Multimode-pumped monolithic amplifier arrays based in erbium-doped phosphate glass., In: Technical Digest of Optical Amplifiers and Their Applications (OAA 2003), July 6-9, 2003, pages 190 to 192	16-20
A	US 3882415 A (Owens-Illinois, Inc.), 06 May, 1975 (06.05.75), Description, column 8, lines 2 to 9 & JP 49-113810 A & DE 2406383 A	1-15
A	US 5148441 A (Kabushiki Kaisha Topcon), 15 September, 1992 (15.09.92), Abstract; all drawings & JP 4-30484 A	13-20
A	JP 11-177165 A (Director-General of National Aerospace Laboratory of Science and Technology Agency), 02 July, 1999 (02.07.99), Par. No. [0006]; Fig. 5	1-20

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/09603

## Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Claims 1-15 involves the invention relating to the shape of a flat solid laser medium.

Claims 16-20 involves the invention relating to the joining of a flat solid laser medium.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.  
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01S3/08

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01S3/00-3/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	US 5926494 A (Hughes Electronic Corporation) 1999. 07. 20	1-3, 8, 13
Y	第1, 2, 4-6図, 明細書第5欄第25-第7欄第4行, 第1欄第29-64行 (ファミリーなし)	4-7, 9-12, 14-15
Y	GB 1488406 A (Compagnie Industrielle Des Lasers) 1977. 10. 12 明細書第1欄第12-19行 &JP 50-143494 A &FR 2260883 A &DE 2505641 A	4

☒ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

17. 11. 03

国際調査報告の発送日

02.12.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

土屋 知久

(印)

2K

3013

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 11-284257 A (日本電気株式会社) 1999. 10. 15, 特許請求の範囲, 全図 (ファミリーなし)	5, 11-12
Y	US 5159605 A (Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha) 1992. 10. 27 明細書第9欄第24-33行, 図17 &JP 2000-286485 A, 請求項5-6 &JP 4-174577 A &DE 4101403 A &US 5257277 A &GB 2241109 A	6-7
Y	Walter Koechner. Solid-State Laser Engineering. Germany: Springer-Verlag, 1999, pp.425-428.	9-10, 14-15
X	US 5553088 A (Deutsche Forschungsanstalt fuer Luft- und Raumfahrt e. V.) 1996. 09. 03 明細書第9欄第16-41行, 第1図	1
A	要約, 第16-20図 &EP 632551 A &DE 4344227 A	1-20
A	Arturo Chavez-Pirson et al. Multimode-pumped monolithic amplifier arrays based in erbium-doped phosphate glass. In: Technical Digest of Optical Amplifiers and Their Applications (OAA 2003), July 6-9, 2003, pp.190-192.	16-20
A	US 3882415 A (Owens-Illinois, Inc) 1975. 05. 06 明細書第8欄第2-9行 &JP 49-113810 A &DE 2406383 A	1-15
A	US 5148441 A (Kabushiki Kaisha Topcon) 1992. 09. 15, 要約, 全図 &JP 4-30484 A	13-20
A	JP 11-177165 A (科学技術庁航空宇宙技術研究所長) 1999. 07. 02 第6段落, 図5	1-20



## 第Ⅰ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第Ⅱ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1-15は平板状の固体レーザ媒質の形状に関する発明である。  
請求の範囲16-20は平板状の固体レーザ媒質の接合に関する発明である。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。  
☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。